



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**EXTENSIÓN – LATACUNGA**

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

“ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA CARROCERÍA CON ANÁLISIS DE ESFUERZOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE UN AUTOBÚS DE LA MARCA PATRICIO CEPEDA CALIFICADA CON NORMA ISO 9001-2008 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LAS FUERZAS ”

ANDRADE GARCÍA LUIS EDUARDO

MÉNDEZ CANCHIG PABLO XAVIER

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Año 2012

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, ANDRADE GARCÍA LUIS EDUARDO

MÉNDEZ CANCHIG PABLO XAVIER

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado: **“ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA CARROCERÍA CON ANÁLISIS DE ESFUERZOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE UN AUTOBÚS DE LA MARCA PATRICIO CEPEDA CALIFICADA CON NORMA ISO 9001-2008 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LAS FUERZAS”** ha sido desarrollado en base a una investigación y consulta en los medios, respetando el derecho intelectual de terceros, con citas en los pie de página correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente el trabajo es de nuestra autoría, en virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Julio, 2012.

---

Andrade García Luis Eduardo

0503280745

---

Méndez Canchig Pablo Xavier

1720086238

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, ANDRADE GARCÍA LUIS EDUARDO

MÉNDEZ CANCHIG PABLO XAVIER

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo **“ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA CARROCERÍA CON ANÁLISIS DE ESFUERZOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE UN AUTOBÚS DE LA MARCA PATRICIO CEPEDA CALIFICADA CON NORMA ISO 9001-2008 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LAS FUERZAS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio, 2012.

Andrade García Luis Eduardo

0503280745

Méndez Canchig Pablo Xavier

1720086238

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

## CERTIFICADO

ING. ARTEAGA OSCAR (DIRECTOR)

ING. TORRES GUIDO (CODIRECTOR)

### CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA CARROCERÍA CON ANÁLISIS DE ESFUERZOS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE UN AUTOBÚS DE LA MARCA PATRICIO CEPEDA CALIFICA CON NORMA ISO 9001-2008 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LAS FUERZAS ” realizado por los señores , ANDRADE GARCÍA LUIS EDUARDO, MÉNDEZ CANCHIG PABLO XAVIER, ha sido revisado y guiado periódicamente y cumple con normas establecidas por la ESPE-L, en el reglamento de estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Julio del 2012

-----  
Ing. Arteaga Oscar

DIRECTOR DEL PROYECTO

-----  
Ing. Torres Guido

CODIRECTOR DEL PROYECTO

## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el trabajo fue desarrollado por: ANDRADE GARCÍA LUIS EDUARDO, MÉNDEZ CANCHIG PABLO XAVIER, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Arteaga Oscar

DIRECTOR

---

Ing. Torres Guido

CODIRECTOR.

## **DEDICATORIA**

A Dios por tener la oportunidad de vivir, triunfar y premiarme con una familia maravillosa.

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Eduardo y Susana quienes día a día me brindaron su apoyo además de ser el pilar fundamental para el desarrollo de mi formación, que me supieron comprender y darme sus bendiciones para poder triunfar en esta vida.

A mis hermanos Maritza, Xavier, Vanessa que me supieron brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

Eduardo.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Automotriz por haberme formado profesionalmente para poder enfrentar y resolver los desafíos de la vida.

Mi profundo agradecimiento, al personal docente, quienes supieron brindar sus conocimientos, experiencias y consejos en mi desarrollo profesional y de esta manera poder cumplir mi meta.

A la empresa PATRICIO CEPEDA de manera especial a la Ingeniera Alejandra Cepeda, por darnos la oportunidad, facilitarnos su ayuda y confianza para realizar el presente tema de tesis.

A mis padres y amigos quienes con su apoyo y consejos supieron brindar su mano cuando lo necesitaba.

Eduardo.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios, por haberme permitido estar aquí en estas circunstancias, con la capacidad de entender nuevos campos de no solo limitarse a seguir en la misma área, de sentirse capaz de crear de saber algo nuevo nuestra rama es muy amplia y el proyecto ha permitido entenderlo en la conjunción de todo lo aprendido hace fortaleza para cumplir una meta mas.

Todo mi esfuerzo y mi trabajo lo dedico a Madre por ser el pilar fundamental en mi vida, por su infinito apoyo, por su infinito amor, y a la compañía de mi hermana que solo con su presencia llenan mi existencia.

Pablo.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi noble Institución, mi escuela de la tengo muchos recuerdos , experiencias y vivencias que formaran parte de toda mi vida a la que debo mi oficio mi trabajo en la que entendí el valor de que uno puedo lograr con base en objetivos planteados con perseverancia.

A mis maestros que gracias a la motivación y conocimiento podre dar un paso muy importante en mi vida, siempre con el concepto de ser emprendedores, de ser mejores en lo que se hace y de no darse por vencido en las metas y objetivos planteados.

A la Empresa Patricio Cepeda con su representante a la persona de la Ing. María Alejandra Cepeda por todo el tiempo y la atención prestada durante la elaboración del presente trabajo.

A toda mi Familia en especial a mi Madre Yolanda quien es el motivo de mi vida y a todos quien supieron en cada momento guiar mi camino para que eligiese el correcto sin importar que este fuese el más largo.

Pablo.

## RESUMEN

Según estudios estadísticos debido al incremento considerable de accidentes de tránsito en las carreteras Ecuatorianas en los últimos tiempos, por unidades de transporte de tipo Interprovincial. La industria de construcción de Autobuses se ha visto obligada a cumplir con un mayor número de normalizaciones y regulaciones impuestas por organismos seccionales, tanto locales como nacionales para brindar mayor seguridad activa y pasiva a los pasajeros.

Comprometida con el avance tecnológico y científico la empresa "Patricio Cepeda" busca comprobar que la construcción de unidades de transporte, estén alineadas al cumplimiento de todas las exigencias que manifiesta la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323: 2009, y el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE vigentes.

La realización del presente proyecto, consiste en analizar la estructura de la unidad de transporte de pasajeros Interprovincial la cual busca determinar la resistencia y deformación máxima producida en los componentes ante las condiciones de carga a las cuales es sometida en su operación, además de entregar información acerca del comportamiento de los miembros estructurales para determinar si se produce fallos o roturas en los mencionados.

En el Capítulo 1, Se presentara una introducción a las unidades de transporte masivo de pasajeros, clasificación vehicular, concepto de carrocería para autobús, los tipos de carrocerías, estructura de esqueleto de refuerzo partes que la constituyen, y la aplicación del software dentro del estudio.

El Capitulo 2, tendremos el estudio de campo, referente a los parámetros de diseño de la estructura para autobuses, así como cada una de las fuerzas y cargas que intervienen en el análisis con sus respectivos valores calculados en base a la norma

técnica ecuatoriana INEN NTE 1323 y el reglamento técnico ecuatoriano RTE 043, y la selección de los materiales empleados para la construcción de la unidad, geometría y sus propiedades mecánicas.

Dentro del Capítulo 3, mostraremos una descripción de la metodología del modelado, simulación y análisis estructural de la estructura para un autobús de tipo interprovincial con el empleo del software SOLIDWORKS 2011, en el mismo que se manifiestan las consideraciones del dibujo, restricciones y aplicación de cargas bajo situaciones o combinaciones como requisito en la INEN NTE 1323, y por último la visualización de los resultados.

En el Capítulo 4, se dan a conocer los resultados obtenidos del análisis estructural, el método de fallo empleado, la deformación de la estructura por las cargas aplicadas en el elemento más crítico bajo las combinaciones de cargas establecidas en la norma, INEN NTE 1323, RTE 043 los esfuerzos producidos en los miembros estructurales y el factor de seguridad que tienen.

El Capítulo 5, Se realiza las pruebas aerodinámicas de la unidad de transporte donde se determinan parámetros de funcionamiento, condiciones de borde, movimiento del fluido y requisitos que exige la norma NTE INEN 1323, dentro de este punto se realiza una documentación de cómo se realiza un ensayo de vuelco de la unidad de transporte completa.

El Capítulo 5, Se da a conocer el proceso de construcción de una unidad de transporte de tipo interprovincial, el mapa de procesos, diagrama de flujo y el diagrama de operaciones para la construcción.

Por último en el Capítulo 6 se definirá las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el presente proyecto.

## SUMMARY

Según estudios estadísticos debido al incremento considerable de accidentes de tránsito en las carreteras Ecuatorianas en los últimos tiempos, por unidades de transporte de tipo Interprovincial. La industria de construcción de Autobuses se ha visto obligada a cumplir con un mayor número de normalizaciones y regulaciones impuestas por organismos seccionales, tanto locales como nacionales para brindar mayor seguridad activa y pasiva a los pasajeros (NTE 1323 –RTE 043).

Comprometida con el avance tecnológico y científico la empresa “ Patricio Cepeda” busca comprobar que la construcción de unidades de transporte, estén alineadas al cumplimiento de todas las exigencias que manifiesta la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323: 2009, y el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE vigentes.

La realización del presente proyecto, consiste en analizar la estructura de la unidad de transporte de pasajeros Interprovincial la cual busca determinar la resistencia y deformación máxima producida en los componentes ante las condiciones de carga a las cuales es sometida en su operación, además de entregar información acerca del comportamiento de los miembros estructurales para determinar si se produce fallos o roturas en los mencionados.

En el Capítulo 1, Se presentara una introducción a las unidades de transporte masivo de pasajeros, clasificación vehicular, concepto de carrocería para autobús, los tipos de carrocerías, estructura de esqueleto de refuerzo partes que la constituyen, y la aplicación del software dentro del estudio.

El Capitulo 2, tendremos el estudio de campo, referente a los parámetros de diseño de la estructura para autobuses, así como cada una de las fuerzas y cargas que intervienen en el análisis con sus respectivos valores calculados en base a la norma técnica ecuatoriana INEN NTE 1323 y el reglamento técnico ecuatoriano RTE 043, y

la selección de los materiales empleados para la construcción de la unidad, geometría y sus propiedades mecánicas.

Dentro del Capítulo 3, mostraremos una descripción de la metodología del modelado, simulación y análisis estructural de la estructura para un autobús de tipo interprovincial con el empleo del software SOLIDWORKS 2011, en el mismo que se manifiestan las consideraciones del dibujo, restricciones y aplicación de cargas bajo situaciones o combinaciones como requisito en la INEN NTE 1323, y por último la visualización de los resultados.

En el Capítulo 4, se dan a conocer los resultados obtenidos del análisis estructural, el método de fallo empleado, la deformación de la estructura por las cargas aplicadas en el elemento más crítico bajo las combinaciones de cargas establecidas en la norma, INEN NTE 1323, RTE 043 los esfuerzos producidos en los miembros estructurales y el factor de seguridad que tienen.

El Capítulo 5, Se realiza las pruebas aerodinámicas de la unidad de transporte donde se determinan parámetros de funcionamiento, condiciones de borde, movimiento del fluido y requisitos que exige la norma NTE INEN 1323, dentro de este punto se realiza una documentación de cómo se realiza un ensayo de vuelco de la unidad de transporte completa.

El Capítulo 5, Se da a conocer el proceso de construcción de una unidad de transporte de tipo interprovincial, el mapa de procesos, diagrama de flujo y el diagrama de operaciones para la construcción.

Por último en el Capítulo 6 se definirá las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el presente proyecto.

## **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el estudio del diseño de una carrocería de autobús de tipo interprovincial mediante la utilización de un software de ingeniería para simular situaciones de carga y esfuerzos empleando los requisitos de la norma INEN 1323 -2009 (Primera Edición), y verificar los lineamientos del RTE-INEN -043 (2010).

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el análisis geométrico de la estructura de una carrocería siguiendo lineamientos basados en el RTE-043 planos.
- Diseño mecánico de la estructura mediante el software.
- Análisis estructural de la unidad en estudio.
- Realizar el análisis estático de la estructura teniendo en cuenta, fijaciones, uniones, malla.
- Determinar el análisis dinámico de la estructura situaciones, combinación de cargas.
- Establecer mediante un estudio aerodinámico los parámetros de trabajo en la unidad de transporte como la fuerza de arrastre, fuerza de sustentación, coeficiente resistencia al aire y potencia necesaria por el automotor.
- Análisis de resultados, verificando los parámetros establecidos en la norma INEN 1323, cuyos elementos de la estructura con zonas críticas estén dentro de lo permitido.
- Conocer los procesos de manufactura en la elaboración de la estructura para la unidad de transporte interprovincial.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	II
AUTORIZACIÓN ALUMNOS	III
CERTIFICACIÓN DOCENTES	IV
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
AGRADECIMIENTO	IX
RESUMEN	X
SUMMARY	XII
OBJETIVO GENERAL	XIV
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XIV

## CAPITULO 1

### CONCEPTOS GENERALES

1.1 Introducción.....	1
1.2 Carrocerías metálicas.....	2
1.3 Clasificación de los vehículos de transporte.....	3
1.3.1 Microbús.....	3
1.3.2 Ómnibus.....	3
1.3.3 Ómnibus convencional.....	4
1.3.4 Ómnibus articulado.....	4
1.3.5 Ómnibus bi-articulado.....	4
1.3.6 Transporte urbano.....	4
1.3.7 Transporte institucional.....	5
1.3.8 Transporte de turismo.....	5
1.3.9 Transporte interprovincial.....	6
1.4 Medidas vehiculares.....	7
1.4.1 Peso, disposición.....	7
1.4.2 Descripción específica.....	8
1.5 Aspectos fundamentales de las unidades de transporte de pasajeros.....	9
1.6 Chasis o bastidor.....	10

1.6.1 Diseño del bastidor.....	12
1.6.2 Aspectos fundamentales en la rigidez del chasis.....	14
1.7 Tipos de carrocerías.....	16
1.7.1 Carrocería.....	16
1.7.2 Carrocería con chasis independiente.....	18
1.7.3 Carrocería con chasis plataforma.....	19
1.7.4 Carrocería autoportante o compacta.....	19
1.8 Partes de la carrocería.....	21
1.8.1 Estructura.....	21
1.8.2 Paneles externos o forros.....	22
1.8.3 Juntas.....	23
1.8.4 Instrumentación.....	24
1.9 Estructura de la carrocería.....	24
1.9.1 Clasificación.....	24
a) Estructura de refuerzo de recubrimiento externo.....	25
b) Estructura de refuerzo de recubrimiento interno.....	26
c) Estructura de esqueleto de refuerzo.....	27
c1)Partes de la estructura de esqueleto de refuerzo.....	28
1.10 Normas de seguridad para las estructuras de carrocerías de autobuses.....	30

1.10.1 Zonas de disipación de desaceleraciones.....	31
1.11 Análisis de la norma de diseño para estructuras de carrocerías .....	32
1.11.1 Definiciones.....	32
Espacio de supervivencia.....	32
1.11.2 Disposiciones generales.....	34
1.12 Estudio del RTE-043 para autobús de tipo interprovincial e intraprovincial.....	35
1.12.1 Definiciones.....	36
1.12.2 Requisitos.....	37
Especificaciones del motor.....	38
Especificaciones del chasis.....	38
Especificaciones de la carrocería.....	39
1.13 Programa de diseño y simulación.....	41
1.13.1 Aplicaciones.....	41
1.13.2 Método de elementos finitos.....	41
1.13.3 Alcances.....	43
 CAPITULO 2	
PARAMETROS DE DISEÑO	
2.1 Fuerzas y cargas que actúan sobre la estructura.....	44
2.1.1 Cargas de flexión.....	44

2.1.2 Cargas de torsión.....	45
2.1.3 Fuerzas verticales.....	46
2.1.4 Fuerzas longitudinales.....	48
2.1.5 Fuerzas transversales.....	49
2.2 Requisitos de fuerzas y cargas.....	50
2.2.1 Cargas estáticas.....	51
Carga muerta (CM).....	51
Carga viva (CV).....	52
2.2.3 Cargas dinámicas.....	52
a) Carga de aceleración brusca (CAb).....	52
b) Carga de frenado (CF).....	53
c) Carga de giro(CG).....	54
d) Carga por resistencia del aire frontal (CRaf).....	55
2.3 Valores de cargas y esfuerzos autobús interprovincial (Norma INEN 1323)...	56
2.3.1 Valor de carga muerta (CM).....	56
2.3.2 Valor de carga viva (CV).....	57
2.3.3 Valor de carga de frenado (CF).....	58
2.3.4 Valor de carga de aceleración brusca (CAb).....	59
2.3.5 Valor de carga de giro (CG).....	60

2.3.6	Valor de carga por resistencia al aire frontal (CRaf).....	61
2.3.7	Combinaciones básicas de cargas.....	63
	Método ASD (Allowed Strength Design).....	63
	Método LRFD (Load Resistance Factor Design).....	64
2.4	Perfiles empleados en la construcción de la estructura.....	66
2.4.1	Materiales empleados.....	66
2.4.2	Aceros.....	66
2.4.3	Clasificación.....	67
2.4.5	Criterio de selección de materiales.....	68
	a) Resistencia a la tracción.....	68
	b) Esfuerzo a la fluencia.....	69
	c) Elongación.....	70
2.4.6	Selección de materiales.....	71
	Acero ASTM A36.....	71
	Acero ASTM A 500 Gr A.....	72
2.4.7	Especificaciones de soldadura.....	73
2.5	Perfiles empleados.....	74
2.5.1	Tubo cuadrado.....	74
	Especificaciones de perfiles.....	75

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA DE MODELADO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS

ESTRUCTURAL.....	76
3.2 Condiciones generales.....	77
3.2.1 Condiciones para el dibujo de la estructura.....	77
3.2.2 Consideraciones sobre la aplicación de las cargas.....	77
3.2.3 Consideraciones acerca del material.....	77
3.2.4 Consideraciones de apoyos en la estructura.....	78
3.2.5 Consideraciones para el análisis de la estructura en computadora.....	78
3.3 Modelación geométrica de la estructura en computadora.....	79
3.3.1 Creación de la geometría de la estructura.....	79
3.3.2 Procedimiento.....	80
3.3.3 Asignación de las secciones y material a utilizar.....	83
3.4 Simulación de la estructura en computadora.....	86
3.4.1 Tipo de estudio a realizar.....	86
3.4.2 Tipos de juntas, uniones.....	87
3.4.3 Sujeciones en la estructura.....	88
3.4.4 Asignación de cargas a la estructura.....	89

## CAPITULO 4

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

4.1 Filosofía de un diseño seguro.....	98
4.1.1 Predicciones de falla.....	98
a) Métodos de predicción de falla.....	98
4.1.2 Falla de materiales dúctiles bajo carga estática.....	99
4.1.3 Factor de diseño.....	100
4.2 Deformación de la estructura por cargas aplicadas en vigas.....	102
4.2.1 Combinación de cargas 1(1.2 CM+0.5CV+0.5CF+1.3CRaf).....	102
4.2.2 Combinación de cargas 2(1.2 CM+1.6CV+0.5CG).....	104
4.3 Efectos de las cargas aplicadas en los miembros del sistema estructural.....	107
4.3.1 Esfuerzos combinados.....	107
4.4 Resultados.....	109
4.4.1 Combinación de cargas 1.....	109
a) Esfuerzos normales.....	109
b) Esfuerzos de tensión de cortadura.....	110
c) Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta.....	112
d) factor de seguridad de la estructura.....	113
4.4.2 Combinación de cargas 2.....	114

a) Esfuerzos normales.....	114
b) Esfuerzos de tensión de cortadura.....	115
c) Esfuerzo de tensión axial y flexión más alta.....	117
d) Factor de seguridad de la estructura.....	118
4.5 Rediseño de la estructura del Autobús .....	119
4.5.1 Consideraciones.....	119
4.5.2 RESULTADOS DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBÚS REDISEÑO.....	120
a) Combinación de cargas 1(1.2 CM+0.5CV+0.5CF+1.3CRaf).....	120
b) Combinación de cargas 2(1.2 CM+1.6CV+0.5CG).....	121
ESFUERZOS.....	124
a) Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta.....	124
b) Factor de seguridad de la estructura.....	125
Combinación de cargas 2(1.2 CM+1.6CV+0.5CG).....	126
a) Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta.....	126
b) Factor de seguridad en la estructura.....	127

## CAPITULO 5

### PRUEBAS AERODINÁMICAS Y ENSAYO DE VUELCO

5.1 Aerodinámica automotriz.....	128
5.2 Propiedades del aire.....	131
5.2.1 Fluido.....	131
5.2.2 Densidad.....	132
5.2.3 Viscosidad.....	132
a1) Viscosidad dinámica.....	133
b1) Viscosidad cinemática.....	134
5.2.4 Flujo laminar.....	134
5.2.5 Flujo Turbulento.....	134
5.2.6 Presión atmosférica.....	135
5.2.7 Efecto Venturi.....	135
5.2.8 Estela.....	136
5.2.9 Número de Reynolds.....	136
5.3 Resistencia aerodinámica.....	138
5.3.1 Fuerza de sustentación.....	138
5.3.2 Fuerza de arrastre.....	139
5.4 Potencia.....	141

5.5 Efecto suelo.....	142
5.6 Modelado del autobús mediante SolidWorks.....	143
5.6.1 Parámetros de diseño.....	144
5.7 Análisis de resultados.....	146
5.7.1 Movimiento del fluido.....	152
5.7.2 Datos modelo original.....	152
5.7.3 Análisis de la potencia.....	152
5.7.4 Análisis del coeficiente de arrastre.....	152
5.7.5 Análisis del coeficiente de sustentación.....	153
5.8 Prototipo mejorado.....	154
5.9 Análisis de resultados.....	155
5.9.1 Movimiento del fluido.....	160
5.9.2 Datos prototipo mejorado.....	162
5.9.3 Análisis de la potencia.....	162
5.9.4 Análisis del coeficiente de arrastre.....	162
5.9.5 Análisis del coeficiente de sustentación.....	162
5.10 Ensayo de vuelco.....	163
5.10.1 Vuelco.....	164
5.10.2 Fuerza de vuelco.....	165

5.10.3 Condiciones de ensayo según la NTE 1323 .....	166
5.10.4 Método de ensayo.....	168
5.10.5 Documentación del ensayo.....	171
 CAPITULO 6	
PROCESOS	
6.1 Qué es un proceso.....	172
6.2 Características de un proceso.....	173
6.3 Clase de procesos.....	174
6.3.1 Proceso de producción intermitente.....	174
6.3.2 Proceso por lotes.....	174
6.3.3 Proceso en línea.....	175
6.3.4 Procesos continuos.....	175
6.4 Determinación de las tareas y secuencias.....	175
6.5 Determinación del tipo de proceso.....	176
6.6 Diseño por procesos.....	177
6.7 Descripción del proceso de construcción de la carrocería.....	177
6.7.1 Departamento de diseño.....	177
6.7.2 Sección máquinas herramientas.....	178
6.7.3 Sección estructuras.....	179

6.7.4 Sección frente y respaldo.....	180
6.7.5 Forrado exterior.....	181
6.7.6 Sección fibra de vidrio.....	181
6.7.7 Sección puertas y compuertas.....	182
6.7.8 Sección división y tapa del motor.....	183
6.7.9 Sección cabina.....	183
6.7.10 Sección forrado interior.....	183
6.7.11 Sección asientos.....	184
6.7.12 Sección pintura.....	184
6.7.13 Sección electricidad.....	185
6.7.14 Secciones acabados.....	185
 CAPITULO 7	
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1 Conclusiones.....	187
7.2 Recomendaciones.....	192
 BIBLIOGRAFÍA.....	 194

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Carrocería autobús interprovincial.....	2
Fig. 1.2 Microbús.....	3
Fig. 1.3 Ómnibus.....	3
Fig. 1.4 Vehículo Ómnibus articulado.....	4
Fig. 1.5 Ómnibus bi-articulado.....	4
Fig. 1.6 Vehículo de transporte urbano.....	5
Fig. 1.7 Vehículo de transporte institucional.....	5
Fig. 1.8 Vehículo de transporte de turismo.....	5
Fig. 1.9 Vehículo de transporte interprovincial.....	6
Fig. 1.10 Vista frontal, vista lateral, medidas autobús.....	8
Fig. 1.11 Radio de giro y diagrama de maniobrabilidad.....	8
Fig. 1.12 Subsistemas unidad de transporte.....	10
Fig. 1.13 Vista lateral chasis Hino AK.....	11
Fig. 1.14 Elementos que componen el vehículo causante de la deflexión en el chasis.....	14
Fig. 1.15 Carga asimétrica causante del par torsor al chasis.....	15
Fig. 1.16 Estructura metálica empleando acero ASTM A36, A 500.....	17
Fig. 1.17 Carrocería con chasis independiente.....	18
Fig. 1.18 Carrocería con chasis plataforma.....	19

Fig. 1.19 Carrocería compacta o autoportante.....	20
Fig. 1.20 Superestructura o estructura de esqueleto.....	22
Fig. 1.21 Paneles exteriores de la carrocería.....	22
Fig. 1.22 Juntas, piso diagonales zona de maleteros.....	23
Fig. 1.23 Juntas zonas laterales, soportes ventanas.....	23
Fig. 1.24 Instrumentación interna zona del conductor.....	24
Fig. 1.25 Estructura de refuerzo de recubrimiento externo.....	25
Fig. 1.26 Estructura de recubrimiento de refuerzo interno.....	26
Fig. 1.27 Estructura de esqueleto de refuerzo.....	27
Fig. 1.28 Parte frontal estructura de esqueleto de refuerzo.....	28
Fig. 1.29 Parte posterior estructura de esqueleto de refuerzo.....	28
Fig. 1.30 Techo de estructura de esqueleto de refuerzo.....	29
Fig. 1.31 Cerchas completas, arcos de cerchas de estructura de esqueleto de refuerzo.....	29
Fig. 1.32 Piso de la estructura de esqueleto de refuerzo.....	29
Fig. 1.33 Espacio transversal del espacio de supervivencia.....	33
Fig. 1.34 Sección longitudinal, sección A-A del vehículo en el plano vertical del eje medio de los asientos interiores.....	33
Fig. 1.35 Logo Autocad 2011.....	43
Fig. 1.36 Logo SolidWorks 2011.....	43

Fig. 2.1 Comportamiento de cargas de flexión sobre el chasis.....	45
Fig. 2.2 Comportamiento de cargas de torsión sobre el chasis.....	46
Fig. 2.3 Fuerzas verticales que actúan en la parte posterior de la carrocería.....	47
Fig. 2.4 Fuerzas verticales que actúan en la parte delantera de la carrocería.....	47
Fig. 2.5 Fuerzas longitudinales en la carrocería.....	49
Fig. 2.6 Puntos de aplicación de fuerza transversales en curvas.....	49
Fig. 2.7 Carga Muerta (CM)carrocería terminada.....	51
Fig. 2.8 Carrocería soportando exceso de carga viva.....	52
Fig. 2.9 Aplicación e incidencia de carga de aceleración brusca.....	53
Fig. 2.10 Comportamiento de las cargas de frenado en la carrocería parte exterior.....	53
Fig. 2.11 Efectos de la fuerzas centrífuga.....	54
Fig. 2.12 Efecto de la inercia en las curvas.....	54
Fig. 2.13 Ilustración de un vehículo sometido a carga de viento.....	55
Fig. 2.14 Curva Tensión – Deformación.....	69
Fig. 2.15 Curva esfuerzo a la fluencia.....	70
Fig. 2.16 Curva esfuerzo a la fluencia.....	71
Fig. 2.17 Soldadura GMAW.....	73

Fig. 3.1 Estructura de tipo esqueleto de refuerzo SolidWorks 2011.....	76
Fig. 3.2 Modelado de líneas estructura de esqueleto para bus interprovincial.....	80
Fig. 3.3 Geometría del perfil modificado tubo cuadrado 50x50x2.6.....	81
Fig. 3.4 Geometría del nuevo perfil tipo triángulo.....	81
Fig. 3.5 Guardar nuevo perfil a la biblioteca de SolidWorks.....	82
Fig. 3.6 Agregar nuevo perfil a biblioteca de SolidWorks.....	82
Fig. 3.7 Asignación al croquis 3D de los miembros estructurales.....	83
Fig. 3.8 Asignación miembros estructurales chasis del autobús.....	84
Fig. 3.9 Asignación miembros estructurales al piso del autobús.....	84
Fig. 3.10 Asignación miembros estructurales cerchas completas autobús.....	84
Fig. 3.11 Estructura completa autobús interprovincial.....	85
Fig. 3.12 Selección del material ASTM A36 propiedades mecánicas.....	85
Fig. 3.13 Simulation, estudio de tipo estático.....	86
Fig. 3.14 Cálculo de juntas.....	87
Fig. 3.15 Selección de los 8 puntos de sujeción.....	88
Fig. 3.16 Aplicación CM+CV.....	90
Fig. 3.17 Aplicación carga de frenado (CF).....	91
Fig. 3.18 Aplicación carga de resistencia al aire frontal (CRaf).....	91
Fig. 3.19 Aplicación carga de giro (CG).....	92

Fig. 3.20 Aplicación carga maletero izquierdo (CMI).....	93
Fig. 3.21 Aplicación carga maletero derecho (CMD).....	93
Fig. 3.22 Aplicación carga maletero posterior (CMP).....	94
Fig. 3.23 Selección del tipo de mallado, mallado de viga.....	94
Fig. 3.24 Selección de la densidad de malla, parámetros de mallado.....	95
Fig. 3.25 Mallado de la estructura del autobús.....	95
Fig. 3.26 Selección icono para ejecutar el análisis.....	96
Fig. 3.27 Resultados de visualización del análisis.....	96
Fig. 3.28 Resultados de visualización del estudio, criterio de fallo de tensión de Von Misses.....	97
Fig. 4.1 Deformación por la combinación de cargas (COMB. 1).....	102
Fig. 4.2 Desplazamiento máximo.....	103
Fig. 4.3 Desplazamiento mínimo.....	103
Fig. 4.4 Deformación por la combinación de cargas (COMB. 2).....	104
Fig. 4.5 Desplazamiento máximo por (COMB. 2).....	104
Fig. 4.6 Desplazamiento mínimo por (COMB.2).....	105
Fig. 4.7 Esfuerzos combinados.....	107
Fig. 4.8 Esfuerzos normales en la estructura (COMB.1).....	109
Fig. 4.9 Esfuerzo normal de tensión (COMB.1).....	109

Fig. 4.10 Esfuerzo normal de compresión (COMB 1).....	110
Fig. 4.11 Esfuerzo de tensión de corte en la estructura (COMB. 1).....	110
Fig. 4.12 Esfuerzo de corte máximo (COMB. 1).....	111
Fig. 4.13 Esfuerzo de corte mínimo (COMB. 1).....	111
Fig. 4.14 Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta (COMB. 1).....	112
Fig. 4.15 Esfuerzo de tensión axial y de flexión máximos (COMB. 1).....	112
Fig. 4.16 Factor de seguridad (COMB. 1).....	113
Fig. 4.17 Esfuerzos normales en la estructura (COMB.2).....	114
Fig. 4.18 Esfuerzo normal de tensión (COMB. 2).....	114
Fig. 4.19 Esfuerzo normal de compresión (COMB. 2).....	115
Fig. 4.20 Esfuerzo de tensión de corte en la estructura (COMB. 2).....	115
Fig. 4.21 Esfuerzo de tensión de corte máximo (COMB. 2).....	116
Fig. 4.22 Esfuerzo de tensión de corte mínimo (COMB. 2).....	116
Fig. 4.23 Esfuerzo de tensión axial y de flexión (COMB. 2).....	117
Fig. 4.24 Esfuerzo de tensión axial y de flexión máximo (COMB. 2).....	117
Fig. 4.25 Factor de seguridad (COMB. 2).....	118
Fig. 4.26 Deformación por la combinación de cargas (COMB. 1).....	120
Fig. 4.27 Desplazamiento máximo.....	121
Fig. 4.28 Deformación por la combinación de cargas (COMB.2).....	121

Fig. 4.29 Desplazamiento máximo por (COMB. 2).....	122
Fig. 4.30 Esfuerzo de tensión axial y de flexión (COMB. 1).....	124
Fig. 4.31 Esfuerzo de tensión axial y de flexión máxima (COMB. 1).....	124
Fig. 4.32 Factor de seguridad (COMB. 1).....	125
Fig. 4.33 Esfuerzo de tensión axial y de flexión (COMB. 2).....	126
Fig. 4.34 Esfuerzo de tensión axial y de flexión máximo (COMB. 2).....	126
Fig. 4.35 Factor de seguridad (COMB. 2).....	127
Fig. 5.1 Triedo de referencia.....	128
Fig. 5.2 Líneas de corriente del autobús.....	130
Fig. 5.3 Viscosidad.....	133
Fig. 5.4 Flujo laminar y turbulento.....	135
Fig. 5.5 Efecto Venturi.....	135
Fig. 5.6 Estela.....	136
Fig. 5.7 Fuerza aerodinámica.....	141
Fig. 5.8 Efecto suelo F1.....	142
Fig. 5.9 Autobús Silver Glass.....	143
Fig. 5.10 Modelado del autobús.....	144
Fig. 5.11 Resumen de condiciones.....	145
Fig. 5.12 Gráfico de la presión dinámica vista lateral.....	146

Fig. 5.13 Gráfico de la presión dinámica vista superior.....	147
Fig. 5.14 Gráfico de intensidad de turbulencia vista lateral.....	147
Fig. 5.15 Gráfico de intensidad de turbulencia vista superior.....	148
Fig. 5.16 Gráfico de la presión vista lateral.....	148
Fig. 5.17 Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas.....	149
Fig. 5.18 Movimiento del flujo en forma de líneas y flechas retrovisores.....	150
Fig. 5.19 Movimiento del flujo en forma de líneas y flechas parte frontal.....	150
Fig. 5.20 Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas vista lateral.....	151
Fig. 5.21 Prototipo mejorado.....	154
Fig. 5.22 Gráfico de la presión dinámica vista lateral.....	155
Fig. 5.23 Gráfico de la presión dinámica vista superior.....	155
Fig. 5.24 Gráfico de intensidad de turbulencia vista lateral.....	156
Fig. 5.25 Gráfico de intensidad de turbulencia vista superior.....	156
Fig. 5.26 Gráfico presión vista lateral.....	157
Fig. 5.27 Gráfico presión dinámica vista lateral.....	158
Fig. 5.28 Gráfico presión dinámica vista superior.....	159
Fig. 5.29 Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas autobús.....	160
Fig. 5.30 Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas parte frontal y retrovisores.....	160
Fig. 5.31 Movimiento del fluido líneas y flechas parte frontal y retrovisores.....	161

Fig. 5.32 Simulación vuelco de un autobús.....	164
Fig. 5.33 Fuerza de vuelco.....	165
Fig. 5.34 Fuerzas actuantes sobre el autobús en una curva.....	165
Fig. 5.35 Autobús colocado en la plataforma.....	168
Fig. 5.36 Especificaciones del ensayo de vuelco.....	169
Fig. 5.37 Campo de visión cámara exterior.....	170
Fig. 6.1 Proceso.....	172
Fig. 6.2 Notación para procesos administrativos y flujo de información.....	176
Fig. 6.3 Perfil G.....	178
Fig. 6.4 Perfil omega.....	178
Fig. 6.5 Material utilizado en la estructura.....	179
Fig. 6.6 Piso, laterales, techo.....	179
Fig. 6.7 Cajuelas.....	180
Fig. 6.8 Guardachoque parte delantera.....	180
Fig. 6.9 Estructuración porta llanta.....	181
Fig. 6.10 Sección forrado, fibra.....	182
Fig. 6.11 Puerta posterior.....	182
Fig. 6.12 Cabina de pintura.....	184
Fig. 6.13 Autobús terminado.....	186

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Descripción medidas específicas autobús interprovincial.....	7
Tabla 1.2 Propiedades mecánicas del chasis Hino Ak.....	16
Tabla 2.1 Peso elementos que constituyen la carrocería.....	56
Tabla 2.2 Masa equivalente de los pasajeros en función del tipo de unidad de transporte.....	57
Tabla 2.3 Velocidad en función del radio de curvatura para la determinar carga de giro (CG).....	60
Tabla 2.4 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	71
Tabla 2.5 Composición química del acero ASTM A36.....	72
Tabla 2.6 Propiedades mecánicas del acero ASTM A 500 Gr A.....	72
Tabla 2.7 Especificaciones del proceso de soldadura utilizado en la construcción de la unidad de transporte.....	73
Tabla 2.8 Especificaciones geométricas, dimensiones y pesos en el tubo cuadrado.....	74
Tabla 2.9 Especificaciones geométricas, dimensiones del tubo cuadrado.....	75
Tabla 2.10 Especificaciones geométricas de perfiles elaborados en la empresa.....	75

Tabla 3.1 Cargas estáticas en la estructura.....	79
Tabla 3.2 Cargas dinámicas en la estructura.....	79
Tabla 3.3 Combinación de cargas 1 (1.2 CM+0.5CV+0.5CF+1.3CRaf).....	89
Tabla 3.4 Combinación de cargas 2(1.2 CM+1.6CV+0.5CG).....	89
Tabla 4.1 Factor de diseño, aplicación en materiales dúctiles.....	101
Tabla 5.1 Densidad vs Altitud.....	132
Tabla 5.2 Valores finales del cálculo modelo original.....	152
Tabla 5.3 Valores finales del análisis prototipo mejorado.....	162

#### INDICE DE ANEXOS.

Anexo A.....	Certificado de confidencialidad
Anexo B.....	Norma NTE 1323- RTE 043
Anexo C.....	Diagrama de Procesos en la empresa
Anexo D.....	Diagrama de operaciones en la empresa 1
Anexo E.....	Material empleado, propiedades mecánicas.

# **CAPITULO 1**

## **CONCEPTOS GENERALES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La concentración de la población en grandes ciudades o en grandes áreas ha supuesto la necesidad de dotación de un transporte colectivo eficiente para el desarrollo de la vida cotidiana de éstas.

El autobús es un medio de automoción muy utilizado en nuestros días sobre todo en las grandes urbes.

Es por este motivo que el estudio del comportamiento de la estructura de un autobús sometido a diferentes estados de cargas es necesario para poder garantizar un diseño óptimo.

El objetivo del modelado dimensional es el de poder realizar ensayos sobre la estructura del autobús y estudiar los resultados obtenidos en dichos ensayos.

Para la creación de un modelo estructural es necesario realizar un estudio previo de la geometría de la carrocería fundamentalmente con dos propósitos:

- Poder extraer las variables más importantes de la estructura.
- Estudiar y precisar los ensayos que se desean realizar por que estos son decisivos a la hora de determinar dichas variables.

## 1.2 CARROCERÍAS METÁLICAS



Fig. 1.1.- Carrocería Autobús Interprovincial.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

Una carrocería metálica se considera una caja especial destinada para transportar personas durante la circulación del autobús, la función principal de la carrocería es alojar y proteger a los pasajeros.

También es vista como el armazón del autobús, formado por perfiles, ángulos y planchas metálicas unidas entre sí, cuyo interior se destina para el habitáculo de los pasajeros.

Con el paso del tiempo se han ido introduciendo transformaciones constantemente en busca de:

- Conseguir un habitáculo más seguro para los pasajeros, lo que llevó al diseño y construcción de carrocerías autoportantes, estas carrocerías absorben mejor el impacto de una colisión mediante la deformación progresiva y controlada de las partes delantera y trasera del vehículo, sin que afecte al compartimiento destinado a los pasajeros.

- Obtener más confort y velocidad con menos potencia y menos consumo de combustible; por esta razón se ha desarrollado la aerodinámica de los vehículos en busca de obtener mejores y más bajos coeficientes de resistencia al aire.

### 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE TRANSPORTE

**1.3.1 Microbús.-** es un vehículo de transporte público más pequeño que un autobús urbano (es decir, mide menos de 11 metros de largo). El tamaño más reducido facilita la circulación en calles estrechas y en tránsito pesado.



Fig.1.2.- Microbús

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

**1.3.2 Ómnibus.-** Vehículo de transporte colectivo para trasladar personas, generalmente dentro de las poblaciones



Fig. 1.3.- Ómnibus

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

**1.3.3 Ómnibus convencional.-** Vehículo con la carrocería unida directamente sobre el Bastidor del chasis, bastidor que no sufre ninguna alteración ni modificación estructural, ni modificación dimensional en la distancia entre ejes durante el proceso de carrozado.

**1.3.4 Ómnibus articulado.-** Vehículo compuesto de dos secciones rígidas unidas entre sí por una junta articulada permitiendo libre paso entre una sección y otra.



Fig. 1.4.- Vehículo Ómnibus Articulado

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

**Ómnibus bi-articulado.-** Vehículo compuesto de tres secciones rígidas unidas entre sí por dos juntas articuladas permitiendo libre paso entre las secciones.



Fig. 1.5.- Ómnibus Bi-Articulado

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

**1.3.6 Transporte urbano.-** Se denomina transporte urbano a aquel en el que los viajeros comparten el medio de transporte y que está disponible para el público en general.



Fig. 1.6.- Vehículo de Transporte Urbano.

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

**1.3.7 Transporte institucional.-** Conocido también como de transporte escolar, unidades de hasta 30 pasajeros destinada al transporte de personal de empresas o escolares.



Fig. 1.7.- Vehículo de Transporte Institucional.

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

**1.3.8 Transporte de turismo.-** Unidades dotadas de las más altas prestaciones en comodidad y seguridad tanto para tripulantes como para viajeros, con lo último en instrumentación de vigilancia, entretenimiento y bienestar para ofrecer un viaje placentero. Generalmente no son unidades de transporte público ya que prestan servicio de acuerdo a las necesidades del cliente.



Fig. 1.8.- Vehículo de Transporte de Turismo.

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

**1.3.9 Transporte interprovincial.-** Unidades no diseñadas para el transporte de pasajeros de pie, dotadas de gran comodidad y de espacios para carga que los hacen aptos para recorrer grandes distancias.



Fig. 1.9.- Vehículo de Transporte Interprovincial.

Fuente: “Clasificación vehicular” Reglamento Nacional de Vehículos 2003

## 1.4 MEDIDAS VEHICULARES

### 1.4.1 PESO, DISPOSICIÓN

Las unidades deberán ser fabricadas con una carrocería sobre chasis montado en dos ejes, diseñados para soportar la carga de los pasajeros y su peso vehicular.

Tabla 1.1.- Descripción medidas específicas autobús interprovincial.

Largo Total máximo (Ltm) de dos ejes.	13300 mm.
Ancho total sin espejos y con puertas cerradas (EET)	Cubra la trocha, sin sobresalir más de 75 mm.
Altura total máxima (AT) incluyendo elementos externos sobre su toldo	4000 mm con escotilla.
Altura mínima en el corredor central medida en la zona de tránsito de usuarios.	1900 mm mín.
Altura mínima desde el piso al borde inferior de la ventana.	700 mm mín.
Altura desde el nivel del suelo hasta el peldaño inferior.	400 mm máx.
Parachoques frontal y posterior	No sobresalir más de 300 mm.
Altura parachoques frontal	500 mm máx. desde la calzada
Altura parachoques posterior.	600 mm máx. desde la calzada
Distancia entre Ejes (DE).	Será aceptada siempre y cuando la disposición de ejes permita la distribución adecuada de las cargas, así como la maniobrabilidad y dimensiones interiores y exteriores especificadas y que su radio de giro no exceda de 14000 mm.
Voladizo trasero (Vp).	66% máx. de la distancia entre ejes.
Voladizo delantero (Vd).	min 2000, máx 3000.
Ángulo de acometida ( Aa ).	Entre 8 y 12 Grados.
Ángulo de Salida (AS).	8.5 Grados mín.
Puerta de acceso altura min.	2000 mm
Ancho libre mínimo	850 mm

Fuente: Medidas tomadas del RTE – INEN 043:2010 Autobús interprovincial e intraprovincial

## 1.4.2 DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA

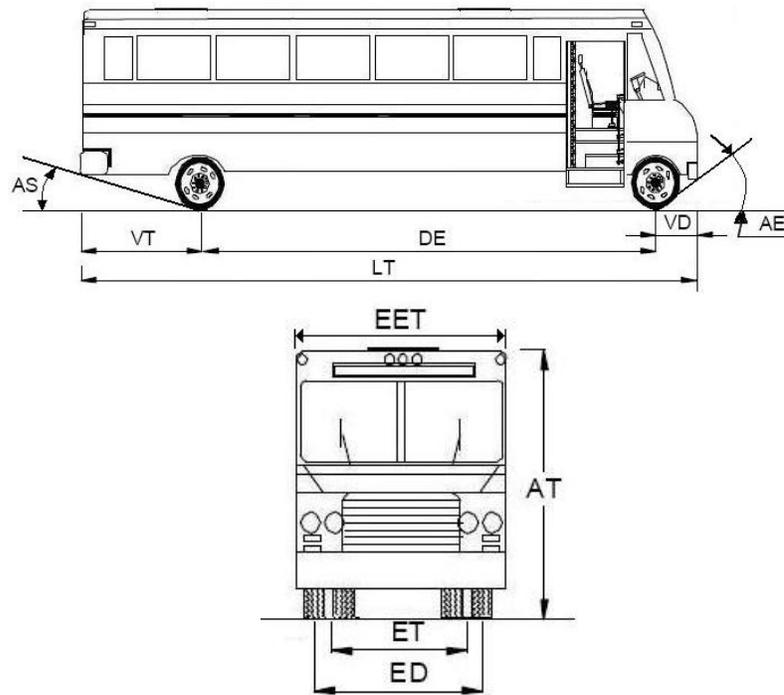


Fig.1.10.- Vista frontal, vista lateral, medidas autobús.

Fuente: Especificaciones Técnicas de seguridad, confort y Medio ambiente para Autobuses nuevos tipo convencional.

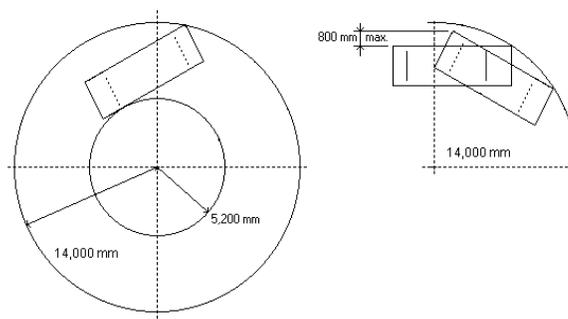


Fig. 1.11.-Radio de giro y diagrama de maniobrabilidad.

Fuente: Especificaciones Técnicas de seguridad, confort y Medio ambiente para Autobuses nuevos tipo convencional.

## **1.5 ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LAS UNIDADES DE TRANSPORTE DE PASAJEROS**

Las unidades de transporte de pasajeros son sistemas integrales, compuestos por subsistemas con comportamiento sinérgico, que en conjunto constituyen uno de los medios de transporte colectivo más adoptados en el mundo.

Desde el punto de vista laboral el transporte de pasajeros resulta de gran importancia por la incidencia del factor humano dentro de la actividad económica.

Desde la perspectiva del entretenimiento el transporte de viajeros a experimentado una creciente demanda en las últimas décadas sobre todo en el transporte por carretera.

Los autobuses son medios de transportes que normalmente operan en la vialidad compartiendo su derecho de vía con otros vehículos, en algunos casos estos medios de transporte han empezado a operar en carriles reservados o exclusivos en muchas ciudades.

Dentro de la gran cantidad de subsistemas que conforman una unidad de transporte encontramos sistemas térmicos, como el motor como unidad de potencia; mecánicos, el sistema de transmisión del movimiento del motor a las ruedas; acústicos y audiovisuales, reproductores, todo esto para el confort de los viajero.

También los ópticos como el sistema de parabrisas que brinda una mejor visibilidad; electrónicos, como los controles de las modernas unidades.

La lista continúa, pero es de exclusivo interés del presente proyecto el estudio de la carrocería como sistema estructural de las unidades de transporte de pasajeros.



Fig. 1.12.- Subsistemas Unidad de transporte.

Fuente propia: Diseño interior Autobús interprovincial.

## 1.6 CHASIS O BASTIDOR

Es un conjunto de perfiles unidos muy rígidamente en forma de cuadro, de manera que el conjunto es indeformable.

El chasis de un vehículo automóvil se destina al montaje de una carrocería con elementos desmontables. Se compone de dos largueros, travesaños y diagonales.

El bastidor está normalmente formado por dos largueros de chapa o perfil laminado, unidos entre sí por travesaños remachados o soldados, que forman el esqueleto resistente del vehículo.

Estos largueros están constituidos por perfiles en forma de U, o bien en forma de caja cerrada, que provienen de chapa que ha sido embutida y luego soldada.

Los travesaños están constituidos de la misma forma y material que los largueros y unidos por remaches o soldadura.



Fig. 1.13.- Vista lateral Chasis Hino AK

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

El bastidor de un vehículo debe cumplir con dos funciones básicas en caso de colisión o vuelco:

- Absorber la energía que se libera en dicha colisión.
- Proteger a los ocupantes de agresiones externas.

Ambas son funciones de difícil compatibilidad dado que se han de compaginar las características de flexibilidad mínimas necesarias con una rigidez suficiente que salvaguarde a los pasajeros, debiendo llegar a un compromiso lo más adecuado posible ante cualquier situación eventual.

La seguridad pasiva en los autobuses es esencial para garantizar la seguridad de los ocupantes, lo que ha provocado la aparición de nuevas reglamentaciones que imponen requisitos a las estructuras y sistemas de retención de los vehículos. Consecuencia de todos estos factores nombrados hasta ahora ha sido el desarrollo, a lo largo de los últimos años, de numerosos avances en seguridad, que han supuesto la necesidad de estudios de investigación para determinar los requisitos a imponer sobre

los mismos, destacando la seguridad ante impactos frontales y la seguridad ante vuelco, con el aumento en los requisitos de resistencia estructural a vuelco y rigidez torsional.

### **1.6.1 DISEÑO DEL BASTIDOR.**

Los bastidores se diseñan como estructura base resistente, capaz de evitar las deformaciones producto de los esfuerzos a los que se verán sometidos a lo largo de su vida útil, ya sean de tracción provocados por la propia marcha del vehículo, de flexión debida al peso total soportado o de torsión como consecuencia del desplazamiento vertical de los ejes. Así, el bastidor estructura del autobús ha de ser capaz de absorber los posibles impactos y vibraciones a los que puede verse expuesto, tales como los esfuerzos de torsión o los movimientos oscilatorios, que influyen especialmente en la seguridad y confort.

- La rigidez a torsión que posea el bastidor del autobús influirá notablemente en el límite de vuelco que éste tenga, siendo por tanto, la evaluación de la torsión del autobús, un elemento clave.
  
- La rigidez a torsión afecta a la transferencia de carga entre las ruedas de un mismo eje y a los esfuerzos dinámicos que se transmiten a las ruedas, al comportamiento del vehículo en los movimientos de balanceo y en la transferencia de carga a cada lado del eje, siendo pues, la rigidez a torsión, un componente esencial en la maniobrabilidad del autobús y en el confort de los pasajeros.

Es así como, un buen diseño del bastidor de un autobús es fundamental para la seguridad y la comodidad, creando una superestructura capaz de absorber los impactos que pudiesen producirse, a la vez que reduce las vibraciones provocadas

por las distintas irregularidades del terreno y soporta la totalidad de elementos (masa) del autobús.

Se ha de llegar a un compromiso entre una óptima resistencia estructural y rigidez torsional y la reducción del peso del conjunto.

La expresión global de la rigidez es:

Donde:

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

$P$ : Carga aplicada Ec. 1.1

$\Delta$ : Desplazamiento

La rigidez cumple con las siguientes proporcionalidades:

$$\begin{aligned} K &\propto E \cdot I \\ K &\propto A \cdot I \end{aligned}$$
Ec. 1.2

Siendo:

$E$ : Módulo de elasticidad o módulo de Young.

$I$ : Momento de inercia.

$A$ : Área de la sección. Mayor será la rigidez.

De estas proporcionalidades se deduce que a mayor módulo de elasticidad, momento de inercia o área de sección, mayor será la rigidez.

## 1.6.2 ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA RIGIDEZ DEL CHASIS

**Resistencia mecánica:** Propiedad del material de soportar una carga antes de fallar.

**Rigidez a la flexión:** Se refiere a cuánto fleja 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.

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.

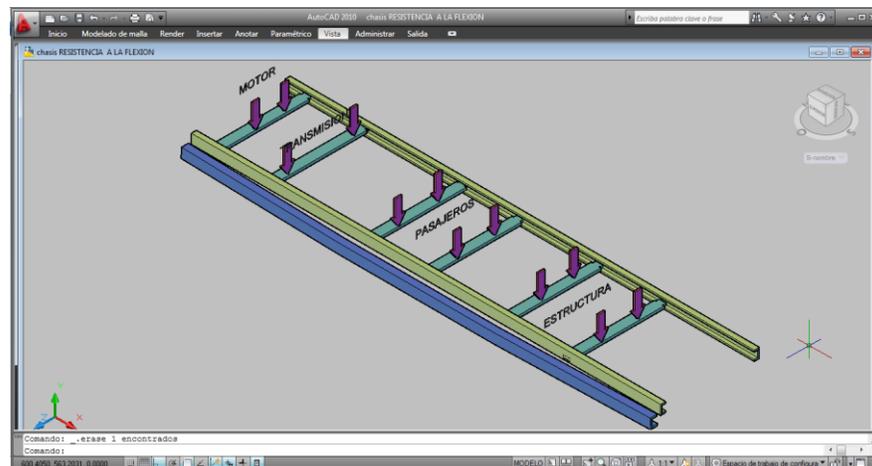


Fig. 1.14.- Elementos que componen el vehículo causante de la deflexión en el chasis.

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors visualización AutoCad 2010

**Rigidez a la torsión:** Se refiere a cuanto se deforma el chasis debido a una carga asimétrica, por ejemplo, cuando una de las ruedas pasa por un bache y las demás no, una de las ruedas está a desnivel mientras en resto del vehículo está a nivel.

Esta condición está también presente en cada curva, por lo cual es importante para la adherencia.

El par torsor al que esté sometido el chasis proviene del conjunto de fuerzas de los amortiguadores.

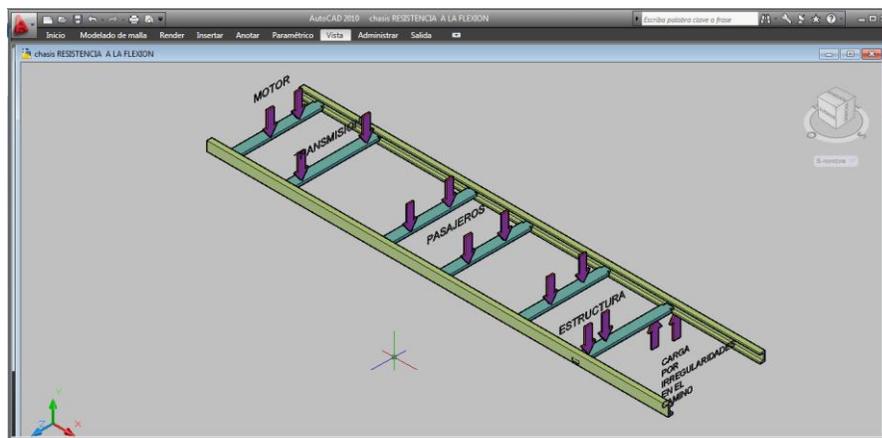


Fig. 1.15.- Carga asimétrica causante del par torsor al chasis.

Fuente: Manual del carrocer Hino Motors visualización AutoCad 2010.

Propiedades mecánicas del material comúnmente utilizado en la fabricación de bastidor de chasis Hino Bus AK.

Tabla 1.2- Propiedades mecánicas del chasis HINO AK.

<b>MATERIAL</b>		
<b>TIPO</b>	Resistencia a la tracción (Su) “MPa”	Resistencia a la fluencia (Sy) “MPa”
Placa de acero laminada al calor	440	304
Placa de acero laminada al calor	440	392

Fuente: Manual para montaje de carrocerías Hino Motors.

## **1.7 TIPOS DE CARROCERÍAS**

### **1.7.1 CARROCERÍA**

Es el cuerpo del autobús, donde van los pasajeros, por lo que debe considerar el confort y utilidad como parte de sus características. Se pueden fabricar carrocerías de distintos materiales:

**Acero:** Es resistente y también fácil de soldar, relativamente barata y tiene muchas otras propiedades útiles para la construcción de carrocerías. El acero se puede reciclar y su principal componente es el hierro. Para hacer vigas y otros componentes de su soporte, el acero se puede prensar en diferentes perfiles que ofrecen la máxima resistencia estructural, por consiguiente es muy pesada pero es más resistente.



Fig. 1.16.- Estructura metálica empleando Acero ASTM-A36, A500.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

**Aluminio:** Es más ligero, pero en cambio no tiene la resistencia del acero y es más difícil de soldar. La producción de aluminio consume mucha energía, pero este material se puede reciclar fácilmente.

Muy pocos automóviles se fabrican con aluminio. Sin embargo, algunos pueden tener el capó, las puertas y otros componentes del chasis hecho en aluminio.

Las carrocerías se clasifican en:

- Carrocería con chasis independiente.
- Carrocería con chasis plataforma.
- Carrocería autoportante o compacta.

## 1.7.2 CARROCERÍA CON CHASIS INDEPENDIENTE

Está formado por un chasis o plataforma independiente al resto de la carrocería, que se fija al chasis por medio de tornillos o soldadura.

Se fijan por separado tanto los componentes mecánicos como los de la carrocería.

Los vehículos que utilizan este tipo de carrocería tienen las siguientes ventajas:

- Destinados al transporte de mercancías o personas.
- Circulación por caminos de tierra o carreteras en mal estado.

La estructura está compuesta por vigas longitudinales o largueros y vigas transversales unidas por medio de remaches, tornillos o soldaduras.

La rigidez de esta construcción varía según el destino para el cual se fabrica.



Fig. 1.17.- Carrocería con chasis independiente.

Fuente: [www.tiposdebastidores.com](http://www.tiposdebastidores.com)

### 1.7.3 CARROCERÍA CON CHASIS PLATAFORMA

Es un chasis aligerado que lleva el piso unido por soldadura, este tipo de carrocerías es utilizado en pequeñas furgonetas y vehículos de turismo destinados a circular por caminos en mal estado.

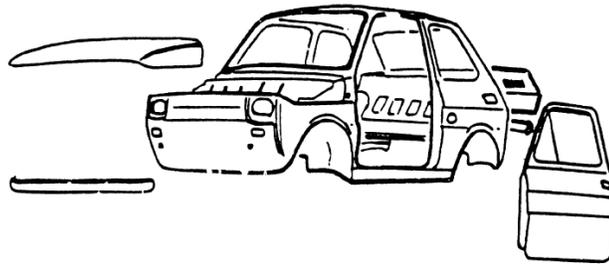


Fig. 1.18.- Carrocería con chasis plataforma.

Fuente: elchapista.com

Este tipo de carrocerías presentan las siguientes características:

- La plataforma es un chasis aligerado
- La plataforma soporta a los órganos mecánicos y al piso.
- La plataforma puede rodar sin carrocería.
- La carrocería es independiente y se une a la plataforma por medio de tornillos o soldadura.

### 1.7.4 CARROCERÍA AUTOPORTANTE O COMPACTA.

El chasis autoportante consiste en una estructura construida mediante el ensamblado de chapas a lo largo de toda la carrocería.

Características:

- Ensamblaje de las chapas se realiza mediante soldadura.

- Soldadura dota a la carrocería de gran rigidez
- Poco pesada y capaz de absorber los esfuerzos debidos a la conducción
- El propio peso del vehículo es capaz de absorber la energía de deformación en caso de accidente.

Sobre esta estructura autoportante se montan los elementos exteriores, como puertas, aletas delanteras y traseras, capós, hasta completar la carrocería del vehículo y los elementos mecánicos.



Dirección de esfuerzos absorbidos por la carrocería autoportante.

Fig. 1.19.- Carrocería compacta o autoportante.

Fuente: Wikipedia, Carrocería de vehículos

## 1.8 PARTES DE 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

### 1.8.1 ESTRUCTURA

Conocida también como superestructura 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 re direccionamiento de la misma desde miembros expuestos hacia miembros menos solicitados a través de juntas rígidas, consiguiendo su disipación.

Pero es necesario que todas las características mencionadas intervengan a la vez.

**Soportar pesos:** Las estructuras deben soportar el peso de todo lo que se apoye, o se sitúe en ellas, pesos muertos.

**Dar forma:** Las estructuras proporcionan la forma de la mayoría de los objetos.

**Servir de protección:** Algunas estructuras cubren a los objetos protegiendo y aislando su interior.



Fig. 1.20.- Superestructura o estructura de esqueleto

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

### 1.8.2 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.



Fig. 1.21.- Paneles exteriores de la carrocería.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

### 1.8.3 JUNTAS

Constituyen las interfaces de unión de elementos estructurales principalmente, de funcionamiento del vehículo y de confort para los pasajeros. Las principales uniones utilizadas son las uniones soldadas, empernadas y aglutinadas, dependiendo si se quiere juntar elementos estructurales, de confort o funcionamiento y de recubrimiento y visibilidad, respectivamente.



Fig. 1.22.- Juntas piso, diagonales zona de maleteros.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda



Fig. 1.23.- Juntas zonas laterales, soportes ventanas.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

#### **1.8.4 INSTRUMENTACIÓN**

Dispositivos dotados a la unidad para brindar el máximo de comodidad al cliente (pasajero y conductor) tanto en el interior como en el exterior de la unidad.



Fig. 1.24.- Instrumentación interna zona del conductor.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

### **1.9 ESTRUCTURA DE LA CARROCERÍA**

Se realizará un análisis más detenido de las estructuras para carrocerías teniendo en cuenta el tipo de estructura que lo constituye.

#### **1.9.1 CLASIFICACIÓN**

Las carrocerías de autobuses pueden normalmente ser clasificadas de acuerdo a la parte de la estructura que soporta la fuerza externa desde la superficie de rodamiento, mientras el vehículo está detenido o en circulación.

### a) Estructura de refuerzo de recubrimiento externo

Los paneles exteriores son los principales elementos de la resistencia de la estructura de la carrocería. El tamaño de las aberturas en los paneles exteriores debe ser restringido a fin de asegurar la rigidez suficiente.

Por lo tanto, el tamaño de las ventanas o puertas es limitado. Una gran cantidad de remaches usados en este tipo de construcción, desmerece la apariencia del vehículo.

La industria ecuatoriana, en los primeros pasos de su incursión en la industria carrocera, adoptó esta tecnología para la construcción de unidades de transporte. Cabe señalar que la tecnología de refuerzo de recubrimiento externo no tiene cabida en el mercado actual por su desventaja en cuanto a apariencia

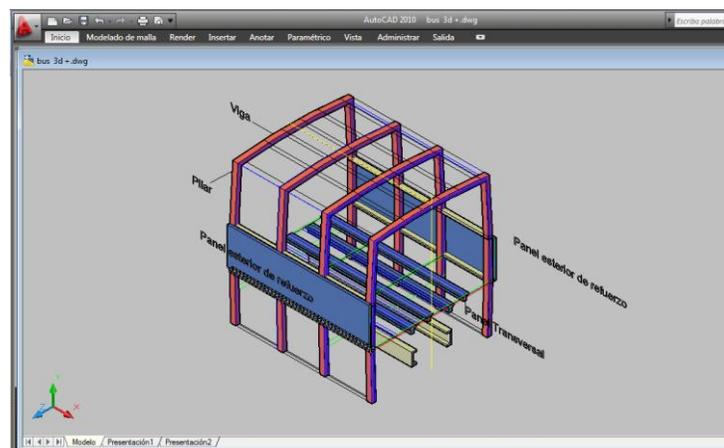


Fig. 1.25.- Estructura de refuerzo de recubrimiento externo

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors visualización AutoCad 2010

## b) Estructura de refuerzo de recubrimiento interno

Los paneles interiores son los principales elementos de la resistencia de la estructura de la carrocería. Debido a que los elementos de resistencia están en el interior de la carrocería, el exterior puede ser cubierto con paneles decorativos exteriores, dando a este tipo de carrocería una ventaja en su apariencia.

Con esta tecnología, los paneles interiores deben mantenerse para asegurar la rigidez suficiente, por lo que, este tipo de carrocería tiende a ser más pesada que las otras, lo que constituye una desventaja competitiva.

Por este motivo, las ensambladuras no emplean en general éste método por considerar que su producto no tendrá acogida suficiente.

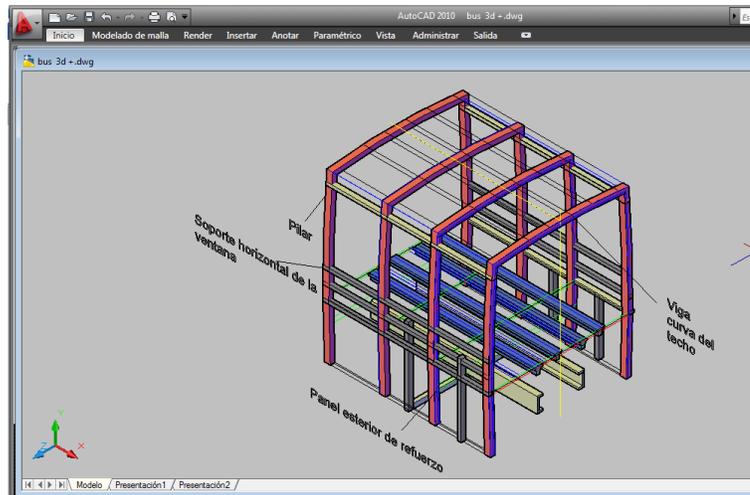


Fig. 1.26.- Estructura de recubrimiento de refuerzo interno.

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors visualización AutoCad 2010

### c) Estructura de esqueleto de refuerzo

La resistencia y rigidez se deben a una integración entre el bastidor del chasis y la estructura de la carrocería, con el principio de diseño analizado que la carrocería completa y el bastidor del chasis forman una estructura integrada, es decir, el bastidor del chasis soporta solo una parte de toda la carga que recibirá el autobús porque la misma se distribuye hacia todos los miembros de la estructura.

Este tipo de carrocería ofrece ventajas considerables por la libertad en el diseño y la mejora en la apariencia de la carrocería:

La apariencia es limpia, sin remaches en los paneles exteriores y las ventanas, las puertas pueden hacerse más grandes.

En la actualidad, ésta configuración es la más utilizada en la construcción de unidades de transporte por las ventajas antes descritas y por la disponibilidad y calidad de materiales en el mercado.

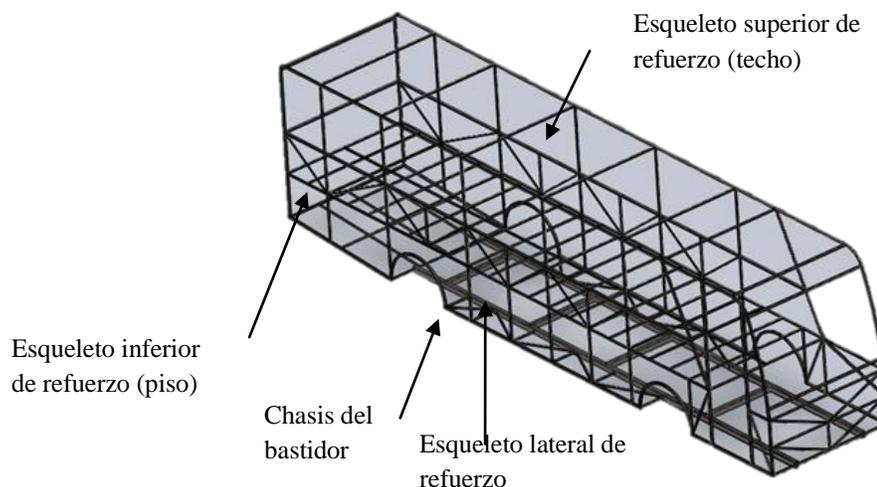


Fig. 1.27.- Estructura de esqueleto de refuerzo.

Fuente: [www.carroceríasdebuses.com](http://www.carroceríasdebuses.com)

### c1) Partes de la estructura de esqueleto de refuerzo

Los principales componentes de una estructura de esqueleto de refuerzo son:

**Frontal y posterior:** son estructuras de soporte, fijación y unión de los elementos de la carrocería, dándoles sus posiciones adecuadas; sobre ellas descansan los paneles frontal y posterior de la carrocería; ofrecen resistencia ante colisiones.

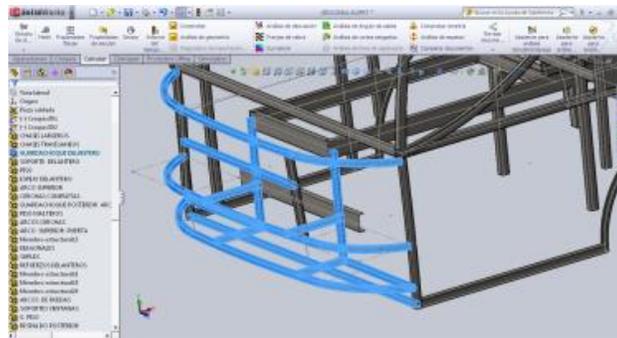


Fig. 1.28.- Parte frontal estructura de esqueleto de refuerzo

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011



Fig. 1.29.- Parte posterior estructura de esqueleto de refuerzo

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

**Techo:** Es la estructura de unión de los laterales y forma entre ellos unidades rígidas o pórticos; su forma es diseñada para evitar que lluvia, ceniza y polvo se acumule en su superficie y dependiendo de la aplicación puede ser reforzada para transportar carga en general.

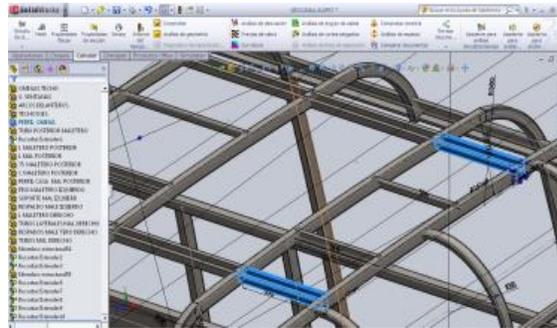


Fig. 1.30.- Techo de estructura de esqueleto de refuerzo

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

**Laterales:** Brindan soporte estructural lateral formando el cuerpo de la carrocería. Comprenden espacios para ventanas y puertas y forman entre sí (derecha e izquierda) arcos uniformes conocidos como "pórticos", que son las unidades estructurales fundamentales de soporte de la estructura.

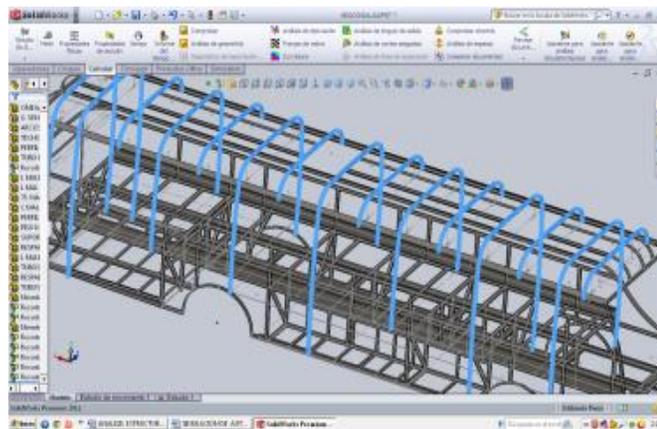


Fig. 1.31 Cerchas completas, arcos de cerchas de estructura de esqueleto de refuerzo

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

**Piso:** Constituye la estructura de soporte tanto de los laterales como de las estructuras frontal y posterior, y sobre el cual se colocan todos los elementos del interior de la carrocería; dependiendo de la aplicación se encuentra cerca del bastidor o es levantado para dar cabida a compartimientos en su parte interior.

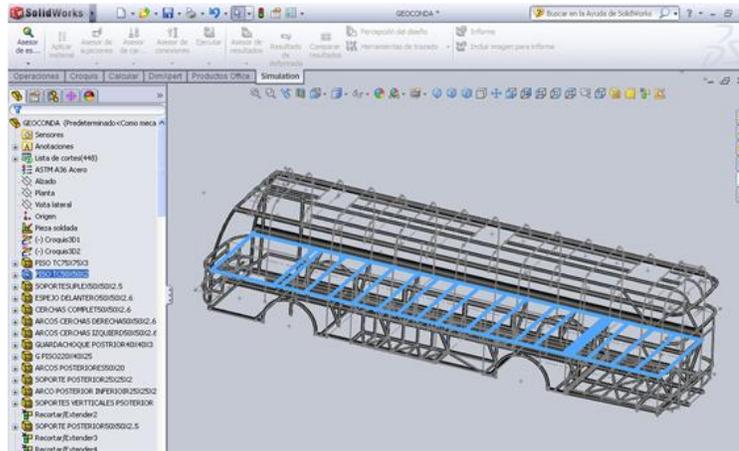


Fig. 1.32 Piso de estructura de esqueleto de refuerzo

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

## 1.10 NORMAS DE SEGURIDAD PARA LAS ESTRUCTURAS DE CARROCERÍAS DE AUTOBUSES

La carrocería es un elemento importante de seguridad pasiva, ya que en caso de colisión absorbe la mayor cantidad de energía posible.

El diseño de todas las carrocerías se basa en disipar desaceleraciones superiores a las que puede soportar el cuerpo humano.

### **1.10.1 ZONAS DE DISIPACIÓN DE DESACELERACIONES**

**Zona central:** formada por el habitáculo de pasajeros, es la zona más rígida del vehículo y debe ser indeformable.

**Zona frontal y trasera:** Fácilmente deformables cuya misión es proteger la zona central transformando la energía cinética de la colisión en energía de deformación.

La carrocería no es sólo un marco de metal sobre el cual se colocan otras piezas que conforman el autobús propiamente dicho, sino que debe garantizar un manejo sin contratiempos, como los producidos por las curvas cuando se viaja a exceso de velocidad, su estructura ha sido desarrollada como una célula de seguridad, con una arquitectura que conduce de forma calculada los flujos de introducción de fuerzas.

La estructura de la carrocería podrá estar constituida de perfiles metálicos o cualquier otro material que ofrezca resistencia y seguridad.

Cualquiera que sea el material utilizado en la estructura, las partes que la componen deberán presentar sólida fijación entre sí a través de la soldadura, de remaches o de los tornillos, de modo de evitar ruidos y vibraciones del vehículo, cuando se encuentre en movimiento, además de garantizar a través de los refuerzos necesarios, la resistencia suficiente para soportar en los puntos de concentración de carga (apoyos, soportes, uniones, aberturas) todo tipo de esfuerzos al que puedan estar sometidos.

## **1.11 ANÁLISIS DE LA NORMA DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE CARROCERÍAS**

### **NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (NTE-INEN 1323:2009)**

Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades, además se aplica a todas las carrocerías de autobuses, sean importadas o de construcción nacional.

#### **1.11.1 DEFINICIONES**

Para los efectos de la presente NTE - INEN se adoptan las definiciones establecidas en la NTE INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1155 vigente y las que a continuación se detallan:

**Carrocería.-** 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 bastidor e incluye en su estructura los anclajes necesarios para el equipo mecánico y eléctrico.

**Bastidor o chasis.-** Constituye el soporte de todos los órganos principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión sobre la que se apoya, dirección, ruedas, frenos).

**Espacio de supervivencia.-** Es el volumen que se obtiene en el compartimiento de ocupantes, desplazando en línea recta el plano vertical y transversal indicado en la figura, de manera que se pase el punto SR de la figura desde el punto SR del último

asiento exterior a través del punto SR de cada asiento exterior intermedio hasta el punto SR del primer asiento exterior del ocupante.



Fig. 1.33.- Espacio transversal del espacio de supervivencia

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323-2009

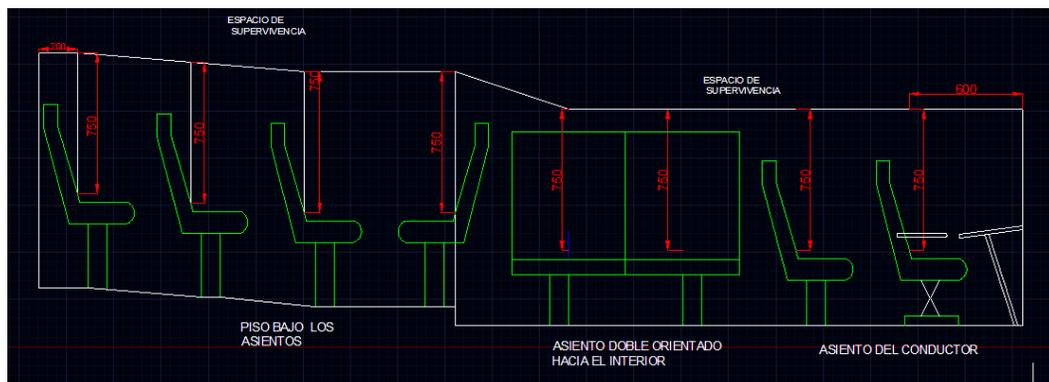


Fig. 1.34.- Sección longitudinal. Sección A-A del vehículo en el plano vertical del eje medio de los asientos interiores.

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323-2009

**Peso máximo admisible para el chasis.-** conocido también como capacidad de carga, es la carga útil máxima emitida para el cual fue diseñado el vehículo, este valor es proporcionado por el fabricante del chasis.

### **1.11.2 DISPOSICIONES GENERALES**

Consideraciones de diseño de la carrocería. Se debe considerar lo siguiente:

Las especificaciones del chasis, lo cual incluye:

- Tipo de servicio de la carrocería
- Peso bruto vehicular (PBV)
- Capacidad de carga de los ejes.
- Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes.
- Relación peso/potencia.

La estabilidad, lo cual incluye:

- Distribución de masa.
- Altura del centro de gravedad.
- Dimensiones de la carrocería.
- Rigidez de suspensión
- Capacidad de inclinación.

El confort, lo cual incluye:

- Aislamiento acústico y térmico.
- Ventilación.
- Hermeticidad.
- Ergonomía.

El mantenimiento, lo cual incluye:

- Accesibilidad a los elementos del vehículo.

La seguridad, lo cual incluye:

- Seguridad activa y pasiva.

Método de anclaje y montaje, lo cual incluye:

- Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis.

Estructura, lo cual incluye:

- Materiales metálicos y no metálicos.
- Uniones y juntas.
- Tratamientos de materiales.
- Geometría y Resistencia estructural.

## **1.12 ESTUDIO DEL RTE-043 PARA AUTOBÚS DE TIPO INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL**

### **REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO (RTE INEN 043:2010)**

Este Reglamento Técnico Ecuatoriano establece los requisitos que deben cumplir los autobuses interprovinciales e intraprovinciales de transporte masivo de pasajeros con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas.

Aplica a autobuses diseñados y equipados para el transporte interprovincial e intraprovincial, que van a ingresar al parque automotor ecuatoriano, importado o ensamblado dentro del país.

### **1.12.1 DEFINICIONES**

Para los efectos del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano se adoptan las definiciones establecidas en las NTE INEN 960, 1 155, 1 323, 1 669, 2 292, 2 204, 2 207, 612, INEN ISO 3779, en los Reglamentos Técnicos Ecuatorianos RTE INEN 011, 034 y en la Ley Orgánica de Transporte Terrestres, Tránsito y Seguridad Vial y su Reglamento General y adicionalmente las que a continuación se detallan:

**Altura de un vehículo.-** Dimensión vertical total de un vehículo, desde la superficie de la vía hasta la parte superior del mismo.

**Ancho de un vehículo.-** Dimensión transversal de un vehículo en su parte más extensa.

**Ángulo de aproximación.-** Es el ángulo en un plano desde el punto de vista del vehículo, formado por el nivel de la superficie en la cual el vehículo está parado y la línea tangente que se forma entre el punto de contacto del radio del neumático delantero y la parte más baja de la parte delantera del vehículo.

**Ángulo de salida.-** Es el ángulo en un plano desde el punto de vista del vehículo, formado por el nivel de la superficie en la cual el vehículo está parado y la línea tangente que se forma entre el punto de contacto del radio del neumático posterior y la parte más baja de la parte posterior del vehículo.

**Compartimiento de pasajeros.-** El espacio destinado a los pasajeros, excluido cualquier espacio ocupado por instalaciones fijas.

**Corredor central.-** Espacio libre o área útil del vehículo excluyendo las áreas de entrada y salida, cobranza, conductor y asientos de pasajeros.

**Diseño original.**- Comprende los planos, normas técnicas de fabricación y demás documentos técnicos en los cuales se sustentan los requisitos del diseño de origen del vehículo.

**Escotilla.**- Abertura en la parte superior de la carrocería para efectos de ventilación y salida de emergencia.

**Longitud de un vehículo.**- La distancia total entre los puntos extremos del vehículo en el eje longitudinal (incluido los parachoques).

**Piso.**- La parte de la carrocería en la que reposan los pies de los pasajeros sentados y los del conductor, así como los soportes de los asientos.

**Salidas de emergencia.**- Son las ventanas laterales, puertas o cualquier otro medio de fácil y rápido desprendimiento o apertura desde el interior del vehículo, a ser usados en circunstancias excepcionales para salida de los ocupantes en casos de peligro.

**Vista total.**- Visión libre de obstáculos con excepción central del parabrisas y los parantes del frente del vehículo.

### **1.12.2 REQUISITOS**

Los autobuses interprovinciales e intraprovinciales deben cumplir con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034” Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores”, en lo que corresponda:

Los aspectos fundamentales de los autobuses interprovinciales e intraprovinciales son: motor, chasis, carrocería, organización externa, organización interna, detalles exteriores e interiores y elementos de seguridad y control.

## **ESPECIFICACIONES DEL MOTOR**

**Arrancabilidad en pendiente.-** Los vehículos de transporte interprovincial e intraprovinciales deben cumplir con la Norma Española UNE 26 358 vigente, con una pendiente del 25%.

**Capacidad de aceleración en plano.-** El tren debe tener la potencia, torque y relación de transmisión que le permita alcanzar una velocidad mínima de 40km/h, partiendo de una condición de reposo y en una superficie plana, en un lapso de 22,5 s a Peso Bruto Vehicular (PBV) cuando se verifique de acuerdo a ensayo indicado en el numeral 6 del presente Reglamento Técnico Ecuatoriano.

## **ESPECIFICACIONES DEL CHASIS**

Debe ser certificado, de diseño original para transporte de pasajeros, sin modificaciones, aditamentos o extensiones a su diseño original y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes. Para el caso de chasis con motor delantero debe ser adelantado con respecto al eje delantero, de diseño original.

**Capacidad del chasis.-** El chasis debe disponer de una capacidad mínima de pasajeros, de conformidad con lo establecido en la ley de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial y su Reglamento General.

## **ESPECIFICACIONES DE LA CARROCERÍA**

**a) Material de la estructura.-** Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN correspondientes vigentes.

a.1) Cualquiera que sea el material utilizado en la estructura de la carrocería del vehículo, las partes que la componen deben presentar sólida fijación entre sí a través de, entre otros, soldadura, remaches o tornillos, de modo de evitar ruidos y vibraciones del vehículo, cuando se encuentre en movimiento, además de garantizar a través de los refuerzos necesarios, la resistencia suficiente para soportar en los puntos de concentración de carga ( apoyos soportes, uniones, aberturas, todo tipo de esfuerzo al que puedan estar sometidos.

**b) Parachoques frontal y posterior.-** Deben disponer de parachoques frontal y posterior. No deben sobresalir de la carrocería en más de 300mm y debe contar con elementos de sujeción que aseguren la absorción de impactos.

b.1) La parte delantera inferior del parachoques delantero estará a una altura máxima de 500mm desde la calzada y, la parte posterior inferior del parachoques posterior estará a una altura máxima de 600mm desde la calzada.

b.2) El material de los parachoques debe ser metálico dúctil o de poliéster reforzado con fibra de vidrio y estructura metálica y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes de la carrocería.

**c) Ventanas laterales.**- Deben ser de cierres herméticos y vidrios de seguridad para uso automotor con un espesor mínimo de 4mm y que cumplan los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 669 vigentes. La altura máxima debe ser de 1000mm.

**d) Unión chasis – carrocería.**- Las uniones entre chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para autobús, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de autobuses.

**e)** En los autobuses, en el caso que existan desniveles en el pasillo de tránsito interno para pasajeros, debe accederse mediante rampas o peldaños con las siguientes características.

e.1) Peldaños.- Huella de 250mm y contrahuella de 200mm

e.2) Rampa.- Inclinación máxima del veinte por ciento (20%) cuando no existan escalones en el pasillo. De quince por ciento (15%) en el caso que existan escalones.

e.3) Debe evitarse, que los bordes de los escalones existentes en el pasillo de tránsito de pasajeros se sitúen en las zonas entre asientos o entre otros asientos y mamparas.

### **1.13 PROGRAMA DE DISEÑO Y SIMULACIÓN**

Actualmente existen en el mercado una gran variedad de paquetes computacionales de modelado que ofrecen herramientas para la construcción de diseños en tres dimensiones y presentan diversas ventajas y desventajas.

Entre las principales desventajas es necesario notar la poca difusión en el mercado, por lo que su uso no es muy conocido.

La informática ha contribuido de forma eficaz a resolver problemas de simplificación al momento de realizar el modelado estructural además del elevado número de cálculos que hay que llevar a cabo si se desea obtener un análisis correcto.

Los ordenadores actuales son capaces de llevar a cabo un elevadísimo número de cálculos por segundo (10.000 a 30.000 operaciones complejas por segundo) lo que ha favorecido el uso del método de elementos finitos (MEF) en diferentes campos de la ingeniería.

#### **1.13.1 APLICACIONES**

La simulación por ordenador de una estructura puede ayudar a obtener un conocimiento más profundo de la misma, además de ser un perfecto laboratorio donde los costos son prácticamente bajos.

#### **1.13.2 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

De forma general, se debe realizar una predicción cuantitativa de un sistema tecnológico para su diseño eficiente, para lo cual se hace necesario formular un modelo matemático del sistema.

Dicho modelo es un sistema de ecuaciones cuyas incógnitas representan magnitudes de interés tecnológico que permiten describir el comportamiento del objeto bajo análisis, para lo cual es necesario resolver las ecuaciones para interpretar de manera técnica el análisis de resultados.

El análisis de elementos finitos se origina como el método de análisis estructural de matrices de desplazamiento, el cual surge luego de varias décadas de investigación como una variante apropiada para computadores.

El método de elementos finitos (MEF) consiste en la simulación de un sistema físico (con su geometría y estados de carga) por aproximación matemática de un sistema real, mediante la división en bloques simples e interrelacionados (llamados elementos). Con este método las incógnitas infinitas de un sistema físico se convierten en un número finito de incógnitas, por lo tanto sistemas físicos cuyo análisis sería muy complicado o prácticamente imposible, se puede analizar de forma relativamente sencilla haciendo uso de este método.

Para ello, el MEF utiliza un sistema de puntos llamados nodos que forman una red llamada malla. Esta malla está programada para contener el material y las propiedades de la estructura que definen como reaccionará ésta ante ciertas condiciones de carga. A los nodos se les asigna la densidad por todo el material dependiendo del nivel de tensión anticipado en un área (a mayor cantidad de tensión mayor densidad de nodos).

### 1.13.3 ALCANCES

El software computacional AutoCAD concuerda con las razones de aplicabilidad técnica y procesamiento de geometría deseada, debido su buena capacidad de manejo de entidades en 2D. Dado que los planos originales de la unidad han sido elaborados en este paquete computacional en 2D, y que existe buena disponibilidad en el mercado.



Fig. 1.35.- Logo AutoCAD 2011

Fuente: [www.mundoshares.blogspot.com](http://www.mundoshares.blogspot.com)

SolidWorks es un conjunto de herramientas de software que presentan gran aplicabilidad técnica. El principio de funcionamiento de dicho programa concuerda con las necesidades del proyecto y la capacidad de diseño de piezas, juntas, uniones, ensambles y demás el análisis estático de la estructura así como la simulación de situaciones o combinación da cargas exigidas en la NTE 1323. Además de la capacidad obtener un análisis aerodinámico de la carrocería del autobús. Por todo lo apreciable de los beneficios de este paquete computacional es de total aplicabilidad al tema.

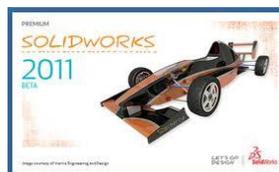


Fig. 1.36.- Logo SolidWorks 2011.

Fuente: [www.blog.alignex.com](http://www.blog.alignex.com)

## **CAPITULO 2**

### **PARÁMETROS DE DISEÑO**

#### **2.1 FUERZAS Y CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE LA ESTRUCTURA**

Con base en la presente norma INEN 1323 es claro que al construir una carrocería de un autobús es importante que dicha estructura deba resistir todas las cargas estáticas y dinámicas que se generan en su funcionamiento.

La función más importante para las secciones delantera y posterior del chasis es servir de fijación y proporcionar la posición correcta a todos los componentes.

El bastidor ha de tener la rigidez suficiente para que los ejes de las ruedas sigan las trayectorias calculadas en los movimientos de suspensión en combinación con los movimientos que se producen al frenar, al girar y en las pendientes.

Es la carrocería junto con el bastidor, la que conjuntamente forman una unidad rígida. Una carrocería de un autobús tiene que resistir una combinación de fuerzas dinámicas en todos los sentidos. Las fuerzas actúan en tres sentidos principales: vertical, longitudinal y transversal

##### **2.1.1 CARGAS DE FLEXIÓN**

Son las interacciones que tienden a flejar (combar) la carrocería, actuando longitudinalmente sobre el bastidor del 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 autobús 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.

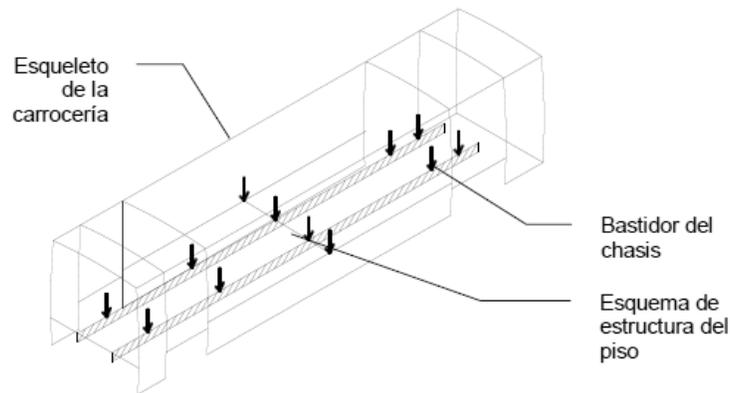


Fig. 2.1.- Comportamiento de cargas de flexión sobre el Chasis

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors

### 2.1.2 CARGAS DE TORSIÓN

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.

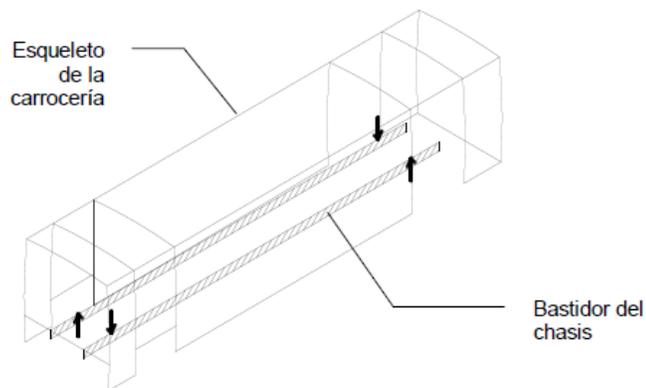


Fig. 2.2.- Comportamiento de cargas de torsión sobre el chasis.

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors

### 2.1.3 FUERZAS VERTICALES

Las fuerzas verticales se forman a causa de las aceleraciones debidas a los movimientos de la suspensión También al tomar las curvas aparecerán fuerzas verticales que actúan sobre los costados de la carrocería y vigas sobresalientes. Las fuerzas verticales en la parte posterior de la carrocería son absorbidas por el eje posterior a través de cuatro o seis fuelles neumáticos.

Estas fuerzas llegan a los fuelles principales a través del cuerpo de la carrocería. Las fuerzas se propagan desde las fijaciones posteriores, pasando por las vigas sobresalientes, saliendo y subiendo por los costados de la carrocería y siguiendo hacia delante a las vigas, bajo las cuales están montados los fuelles de aire del eje posterior.

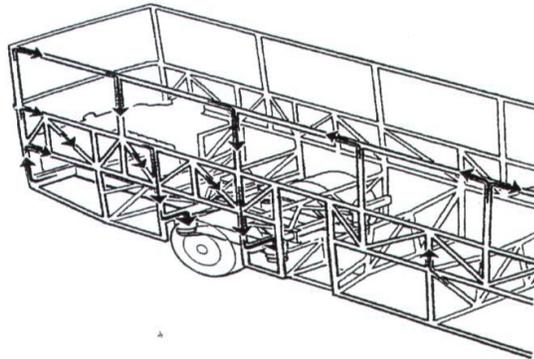


Fig. 2.3.- Fuerzas verticales que actúan en la parte posterior de la carrocería

Fuente: Manual de montaje de carrocerías Scania

Como caso extremo pueden aparecer torsiones, por ejemplo, al conducir por malos caminos si la rueda delantera de un lado y la posterior del otro lado son comprimidas al mismo tiempo contra el tope de las ballestas.

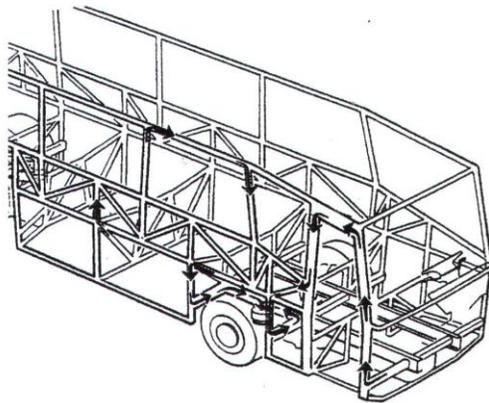


Fig. 2.4.- Fuerzas verticales que actúan en la parte delantera de la carrocería.

Fuente: Manual de montaje de carrocerías Scania

Parecidas fuerzas ascendentes y descendentes procedentes del voladizo delantero llegan a los fuelles del eje delantero.

Este voladizo no es tan grande como el posterior, no obstante si hay una abertura para una puerta aparecerán problemas. Como una gran parte de la carga vertical ha de pasar alrededor (principalmente encima) de la puerta, esta zona queda expuesta a muy grandes esfuerzos.

El peso de los pasajeros y del equipaje se concentra en la sección entre los ejes. También aquí las fuerzas siguen el camino más rígido a los costados de la carrocería a los fuelles de la suspensión.

#### **2.1.4 FUERZAS LONGITUDINALES**

Las fuerzas que generan los pasajeros y el peso del equipaje al frenar el vehículo han de transmitirse a través del suelo y de los soportes de este a los largueros para descender seguidamente a las barras de reacción.

Las fijaciones del suelo han de hacerse de manera que sean capaces también de resistir las fuerzas longitudinales y transversales. Las fuerzas longitudinales aparecen normalmente al frenar el vehículo, pero pueden formarse también al pasar sobre los baches del pavimento.

Al frenar el vehículo la reacción del piso transmite a los costados de la carrocería donde es absorbido por las cuadernas y las ventanillas, especialmente si están escalonadas. Las fuerzas se reúnen en la parte inferior de los costados de la carrocería propagándose a través de las barras de reacción a las ruedas.

En la mayor parte de los casos se da al maletero forma de armazón. Su acoplamiento a las partes delantera y trasera del chasis es una parte vital del armazón total de la carrocería y es muy importante tener en cuenta las fuerzas que se originan en esta zona. Las fuerzas actuantes son longitudinales y como todas estas fuerzas acaban concentrándose en las barras de reacción, como se muestra en la figura.

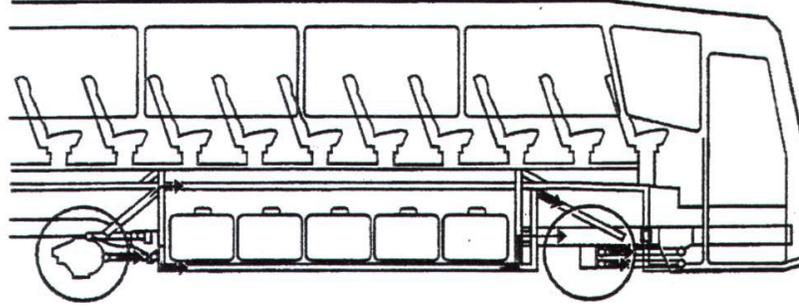


Fig. 2.5.- Fuerzas longitudinales en la carrocería

Fuente: Manual de montaje de carrocerías Scania

### 2.1.5 FUERZAS TRANSVERSALES

Las fuerzas transversales aparecen al tomar curvas y al cambiar de carril. La sección del techo es empujada hacia fuera siendo frenado este movimiento por la parte inferior de la carrocería y por las ruedas. La carrocería se ve sometida a las fuerzas transversales y vista desde adelante parece asumir la forma de un romboide.

Se producen durante giros rápidos donde la unidad está sometida a una aceleración centrífuga que permite seguir la trayectoria de la curva. Todo ello origina tensiones en las esquinas entre las cuadernas de los costados de la carrocería y las vigas transversales del techo.

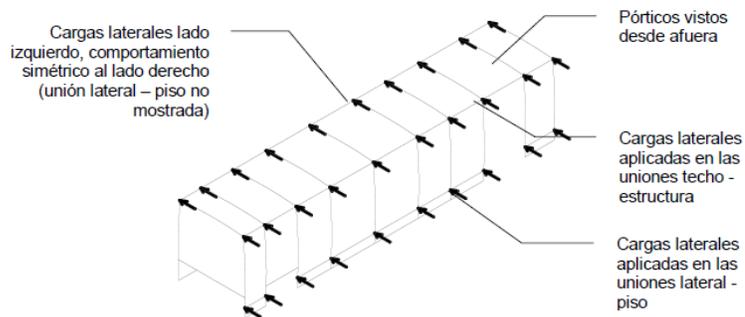


Fig. 2.6.- Puntos de aplicación de Fuerzas transversales en curvas.

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors

Todas las fuerzas transversales originadas por una carrocería cargada con equipaje y pasajeros constituyen fuerzas laterales en el suelo donde son transmitidas a las barras de reacción donde son absorbidas.

Al tomar curvas se originan fuerzas transversales que tienden a flexionar a la carrocería alrededor de las fijaciones de los ejes. Estas fuerzas son absorbidas principalmente por el suelo y en cierta medida por el techo.

A consecuencia de ello, la estructura estará sometida a una fuerza centrífuga que cargará los paneles y columnas de la misma y los ocupantes constatarán los efectos de una fuerza centrípeta que tiene tendencia a sacarlos de su ubicación.

## **2.2 REQUISITOS DE FUERZAS Y CARGAS.**

Para el análisis de cargas y esfuerzos que sufre la carrocería de un autobús al trasladarse, se tomarán las condiciones de viaje de un autobús interprovincial, debido a que serían estas las condiciones más críticas en las que tendría que trabajar un autobús. Con motivo de respetar y acoger la normativa nacional existente, se emplearán las cargas que señala la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1 323:2009: Vehículos automotores. Carrocerías de autobuses. Requisitos.

Esta Norma establece los requisitos para el diseño, fabricación y montaje de autobuses para todas sus modalidades y son las que a continuación se detallan:

- Carga muerta (CM).
- Carga viva (CV).
- Carga de aceleración brusca (CAb).
- Carga de frenado (CF).
- Carga de giro (CG).
- Carga por Resistencia del Aire frontal (CRaf).

### **2.2.1 CARGAS ESTÁTICAS**

Son aquellas cargas que soporta la estructura metálica de la carrocería de un autobús y que por naturaleza de concepción aparecen, es decir, las correspondientes a su peso total, y el peso de los pasajeros incluido su equipaje de mano. Por lo tanto, con un diseño adecuado de la estructura, esta soporta sin problemas las cargas estáticas, las cuales son:

#### **CARGA MUERTA (CM)**

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.



Fig. 2.7.- Carga muerta (CM) Carrocería terminada

Fuente Propia: Autobús Patricio Cepeda

## **CARGA VIVA (CV)**

Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería.



Fig. 2.8.- Carrocería soportando exceso de carga viva.

Fuente: [www.carroceríasautobuses.com](http://www.carroceríasautobuses.com)

### **2.2.3 CARGAS DINÁMICAS**

#### **a) CARGA DE ACELERACIÓN BRUSCA (C<sub>Ab</sub>)**

La carga de aceleración brusca siempre se considera mucho menor en comparación a la carga de frenado, puesto que por ejemplo: si se quiere acelerar de 0 a 90 km/h conlleva un largo tiempo para autobuses incluso si se necesitara acelerar de urgencia; pero si se viaja a 90km/h y por causa de emergencia o accidente se necesita frenar el autobús donde están en juego vidas humanas, se tiene pocos segundos para hacerlo, lo que implica tener mayores cargas en esta instancia.

Las cargas de aceleración, al igual que la de frenado se transmiten desde los puntos de sujeción de la carrocería hacia las uniones entre la estructura del piso y los laterales y éstos con la estructura del techo, donde son absorbidas por la estructura en conjunto.

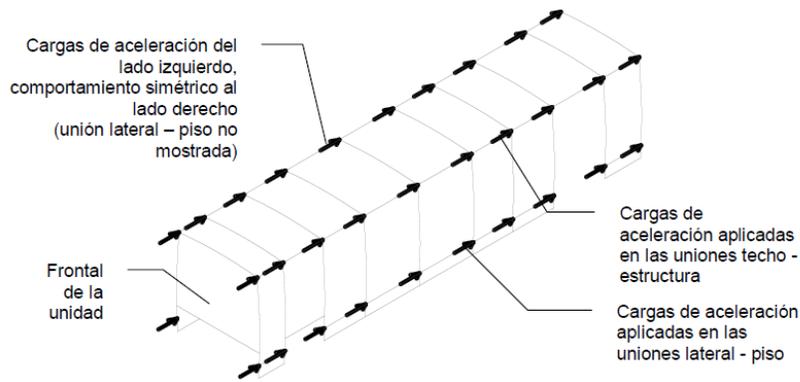


Fig. 2.9.- Aplicación e incidencia de carga de aceleración brusca.

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors

### b) CARGA DE FRENADO (CF)

Se presentan cuando el vehículo es sometido a una aceleración negativa (sentido contrario al movimiento) dando como resultado la presencia de este tipo de fuerzas que actúan empujando la estructura en el sentido del movimiento original debido a la inercia de la unidad.

Del mismo modo, cuando el vehículo experimenta aceleraciones en el mismo sentido del movimiento, se presentan cargas hacia atrás que se oponen al mismo, por el motivo descrito

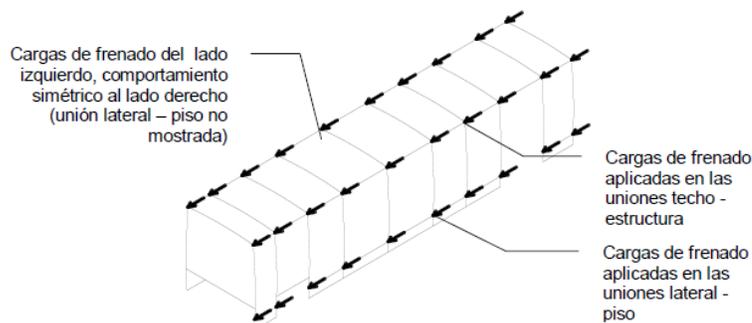


Fig. 2.10.- Comportamiento de las cargas de frenado en la carrocería parte exterior.

Fuente: Manual del carrocerero Hino Motors

### c) CARGA DE GIRO (CG)

El automóvil, al describir una trayectoria curvilínea; se ve sometido a la fuerza centrífuga, como si se pusiera a girar en redondo sobre una circunferencia cuyo centro coincide con el centro geométrico de la curva de la carretera.

Aunque no realice un giro de 306°, por pequeña que sea la longitud del trazado en curva de la carretera, aparece la fuerza centrífuga.



Fig. 2.11.- Efectos de la fuerza centrífuga.

Fuente: [www.aerodinamicaenautomoviles.com](http://www.aerodinamicaenautomoviles.com), efectos de fuerzas en los automóviles

La fuerza centrífuga se manifiesta aplicada al centro de gravedad del automóvil y su dirección es la del radio de la curva tirando del vehículo hacia el exterior de esta.

La inercia que se genera en el coche al tomar las curvas hace que se salga de la pista al arrastrar al vehículo hacia la parte exterior de la curva.

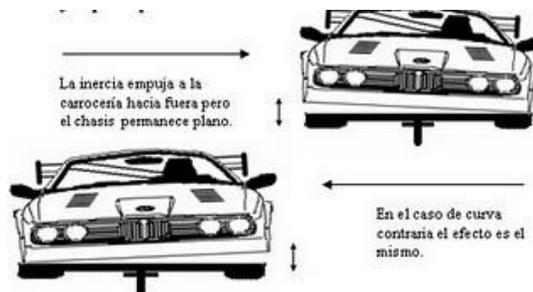


Fig. 2.12.- Efecto de la inercia en las curvas.

Fuente: [www.aerodinamicaenautomoviles.com](http://www.aerodinamicaenautomoviles.com), efectos de fuerzas en los automóviles

#### **d) CARGA POR RESISTENCIA DEL AIRE FRONTAL (C<sub>Raf</sub>)**

Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del autobús en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

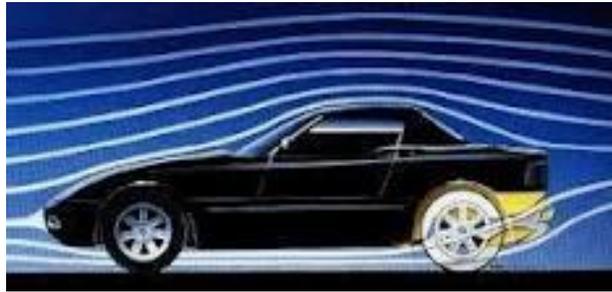


Fig. 2.13.- Ilustración de un vehículo sometido a carga de viento.

Fuente: [www.aerodinamicaenautomoviles.com](http://www.aerodinamicaenautomoviles.com), efecto del viento en los automóviles

El flujo aerodinámico también afecta al confort de los pasajeros a través de la sonoridad.

Las fuentes de ruido aerodinámico suelen coincidir con las que forman turbulencias, por lo que en principio, un buen coeficiente aerodinámico hace que el vehículo sea silencioso.

No obstante, el confort acústico no se basa solo en el nivel de ruido, sino en la amplitud y frecuencia del mismo.

## 2.3 VALORES DE CARGAS Y ESFUERZOS AUTOBÚS INTERPROVINCIAL (Norma INEN 1323)

Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323: Vehículos Automotores para carrocerías de buses, de acuerdo a los requisitos que debe cumplir la estructura de carrocerías de buses, se aplicaran las siguientes cargas para el análisis cuasi estático.

Previa información por parte de la empresa se dio a conocer el peso total de los dos elementos que constituyen la unidad de transporte en estudio.

### 2.3.1.- VALOR DE CARGA MUERTA (CM)

Este tipo de carga 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 (ver tabla 2.1).

Tabla.2.1.- Peso elementos que constituyen la carrocería.

BUS INTERPROVINCIAL		
Elemento	Peso total (Kg)	%
Carrocería	5380	53.16
Chasis Hino (AK)	4740	46.84
Sumatoria	10120	100

Fuente: Archivos Carrocerías Patricio Cepeda

$$Carga.Muerta = 10120(Kg)$$

### 2.3.2.- VALOR DE CARGA VIVA (CV)

Para el análisis de las cargas y esfuerzos a los que está sometida la estructura de la carrocería en estudio se tomarán las condiciones de viaje aplicadas al diseño de un bus tipo Interprovincial en las condiciones más críticas.

En función de la tabla (ver.2.2) se tomará el valor de la masa de un ocupante más el valor de la masa mínima de equipaje de mano por pasajero. Las condiciones más críticas se dan cuando el bus este completamente lleno, por lo cual se asumirá la cantidad de 44 pasajeros y se estipula que este tipo de unidad de transporte no lleva pasajeros parados.

Tabla.2.2.- Masa equivalente de los pasajeros en función del tipo de unidad de transporte.

Tipo de servicio (Ver nota 2)	Masa de un ocupante (Kg)	Masa mínima de equipaje de mano por pasajero (Kg)	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas Porta equipaje (Kg) (Ver nota 3)	Espacio necesario por pasajero de pie (m <sup>2</sup> )
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano(Escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Inter Urbano (Intraprovincial)	70	5	100xVOL	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y Turismo)	70	5	100xVOL	Sin pasajeros de pie

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1323-2009

$$\text{Munitaria} = 70(\text{Kg})\text{ocupante} + 5(\text{kg})\text{equipaje de mano} = 75(\text{kg})$$

$$M_p = 75(\text{Kg}) \cdot 46(\text{Ocupantes}) = 3450(\text{Kg})$$

$$CV = M \times g = 3450 \text{ Kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} =$$

$$CV = 33810(N).$$

### 2.3.3.- VALOR DE CARGA DE FRENADO (CF)

Se ha considerado cargas de aceleración o frenado partiendo del parámetro de frenado de pánico; es decir, el vehículo circulando a una velocidad de 100 Km/h a su máximo peso bruto vehicular sobre una superficie horizontal, debe frenar totalmente en una distancia no mayor de 85 m. utilizando los frenos de servicio.

Para calcular el valor de esta carga se empleara la siguiente fórmula:

$$CF = M \times a = (N)$$

Ec 2.1<sup>1</sup>

$$V_1 = V_0 + 2aS =$$

$$a = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2S} = \frac{(0^2 - 27.7^2)}{2 \times (85\text{m})} =$$

$$a = 4.51 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ec 2.2

Donde:

*M = Masa total del autobus no incluye chasis.*

*V<sub>0</sub> = Velocidad inicial*

*V<sub>1</sub> = Velocidad final*

*a = aceleración*

*S = Espacio de desplazamiento.*

---

<sup>1</sup> Ec 2.1 Carga de frenado.- Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s<sup>2</sup>, De acuerdo al ensayo del tipo de motor embragado para vehículos clase N de la directiva 98/12/ CE DE LA COMISION EUROPEA, Ensayos de frenado NTE INEN -1323 Pág. 6.

Este valor deberá ser aplicado en el mismo sentido del movimiento del autobús (desaceleración.)

$$Mt = Mc + Mp + Meq$$

$$Mt = 5380 + 3450 + 682.5 = 9512.5(Kg)$$

$$CF = Mt \cdot a$$

$$CF = 9512.5(Kg) \cdot \frac{4.51m}{seg^2} = 42901.53(N)$$

Siendo:

$M_c$  = masa de la carrocería

$M_p$  = masa de los pasajeros

$M_{eq}$  = masa del equipaje

$M_t$  = masa total de la carrocería terminada

#### **2.3.4.- VALOR DE CARGA DE ACELERACIÓN BRUSCA (CA<sub>b</sub>)**

Según la norma NTE INEN 1323, esta carga se calcula con el mismo concepto de la carga de frenado pero en sentido contrario.

$$A_b = - 42901.53 (N)$$

### 2.3.5.-VALOR DE CARGA DE GIRO (CG)

La fuerza centrífuga que se genera cuando el vehículo circula en una curva, 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 100 km/h y el radio de giro se establecerá en función de tabla (ver 2.3), que es 450 m. La carga de giro mencionada se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{v^2}{r_c} \cdot M_t \quad \text{Ec 2.3}^2$$

Siendo:

$F_c$  = Fuerza centrífuga(N)

$M_t$  = Masa total de la carrocería terminada sin chasis(Kg)

$v$  = velocidad del autobús(m/seg)

$r_c$  = radio de curvatura(m)

Tabla 2.3.- Velocidad en función del radio de curvatura para la determinar carga de Giro (CG).

Velocidad del vehículo (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)
80	250
85	300
90	350
95	400
100	450
105	500
110	550
115	600
120	700
125	800
130	900
135	1050
140	1250
145	1475
150	1725

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1323-2009

---

<sup>2</sup> Formula de Fuerza centrífuga en función de la velocidad que ingresa el autobús a la curva y el radio de curvatura.

Este valor es el mínimo que puede tomar la fuerza centrífuga, puesto que ha sido calculada con la velocidad del autobús sugerido por la norma NTE INEN 1323, sin embargo al tratarse de un estudio de diseño estructural tenemos:

$$a = \frac{v^2}{r_c}$$

$$a = \frac{(27.7)^2}{450} = 1.70 \text{ m/seg}^2$$

$$CG = a \cdot Mt$$

$$CG = (1.70) \cdot (9512.5)$$

$$CG = 16171.25(N)$$

### 2.3.6.- VALOR DE CARGA POR RESISTENCIA AL AIRE FRONTAL (CRaf).

Se aplicara como la fuerza actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal:

$$CRaf = \frac{C_x \cdot \rho \cdot A_f \cdot v^2}{2} \quad \text{Ec. 2 4}^3$$

---

<sup>3</sup> Raf=Fuerza del aire actuante sobre una área correspondiente a la proyección del bus en 1 plano perpendicular

Siendo:

$C_x$  = coeficiente de resistencia aerodinamica

$\rho$  = densidad del aire  $\text{kg/m}^3$

$A_f$  = área correspondiente a la proyección del autobús  $\text{m}^2$

$v$  = velocidad del autobús  $\text{m/seg}$

Para el presente cálculo del valor de la carga se emplearan los siguientes datos con las siguientes consideraciones:

- Para el cálculo se tomara un valor de 100 Km/h (27.7m/seg) que vendría a ser la velocidad máxima promedio de un autobús en la vía en plano.
- Área correspondiente a la proyección del bus  $7.27\text{m}^2$ .

(Valor proporcionado en la empresa planos).Frente autobús: (2,418m),  
Altura autobús (2,981m).

- Densidad del aire a nivel del mar, condición más crítica.  $1.225\text{Kg/m}^3$ .
- Coeficiente de resistencia aerodinámica valor mínimo en la norma 0,7.

$$Raf = \frac{(0.7) \cdot (1.225) \cdot (7.27) \cdot (27.7)^2}{2} = 2391.65(N)$$

### **2.3.7.- COMBINACIONES BÁSICAS DE CARGAS**

Las estructuras de las carrocerías deben ser diseñadas de tal manera que resistan los esfuerzos determinados en base a las combinaciones de cargas básicas.

En estas combinaciones existen varias posibilidades, para el motivo de análisis se tomaran las siguientes combinaciones más críticas, puesto que si la estructura metálica de la carrocería soporta esta combinación no tendrá problema de soportar las demás.

Las combinaciones establecidas se pueden obtener empleando los métodos ASD y LRFD

#### **METODO ASD (Allowed Strength Design)**

Este es el método de Diseño por Esfuerzo Permisible, Diseño Elástico, Diseño por Esfuerzos de Trabajo.

La mayor parte de las estructuras de acero que existen actualmente, fueron diseñadas utilizando métodos elásticos.

En este método el ingeniero, estima las cargas de trabajo o de servicio, es decir las cargas que la estructura tiene que soportar, y diseña los miembros estructurales con base en ciertos esfuerzos permisibles.

Estos usualmente son cierta fracción del esfuerzo mínimo de fluencia especificado para el acero.

De acuerdo a la norma NTE INEN 1323, se tiene para este método las siguientes combinaciones de carga.

1. CM
2. CM + CV

3.  $CM + CV + CG$
4.  $CM + CV + CF + CRaf$
5.  $CM + CV + CRaf$
6.  $CM + CV + CAb$
7.  $CM + CV + CAb + CRaf$

### **METODO LRFD (Load Resistance Factor Design)**

Este es el Método de Diseño por Factor de carga y Resistencia que se basa en los conceptos de estado límite, mismo que describe una condición en la que una estructura, o alguna parte de ella, dejan de cumplir su función. Este estado límite se puede subcatalogar en dos tipos: los de resistencia y los de servicio.

El primer método ASD se basa en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluye las resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de volteo. Mientras que los estados límites de servicio se refieren al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio, mismas que tienen que ver con el uso y la ocupación como deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones y agrietamientos.

En el método LRFD las cargas de servicio son multiplicadas por los llamados factores de carga o de seguridad. Con esto se obtienen las cargas factorizadas, mismas que serán utilizadas para el diseño de la estructura.

Esta estructura deberá tener un diseño lo suficientemente fuerte que permita resistir estas cargas factorizadas.

De acuerdo a la NTE INEN 1323, se tiene para este método las siguientes combinaciones de carga.

1.  $CM$
2.  $1.4CM + CV$
3.  $1.2CM + 1.6CV + 0.5CG$
4.  $1.2CM + 0.5CV + 1.6CG$
5.  $1.2CM + 1.6CF + 0.8CRaf$
6.  $1.2CM + 0.5CV + 0.5CF + 1.3CRaf$
7.  $1.2CM + 1.5CAb + 0.5CV$
8.  $0.9CM - 1.3CRaf$
9.  $0.9CM + 1.3CRaf$ .

Las cargas combinadas, según los 2 métodos (ASD y LRFD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a  $L/240$  veces su longitud.

## **2.4.- PERFILES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

### **2.4.1.- MATERIALES EMPLEADOS**

La resistencia y capacidad de absorción de energía de una carrocería depende, fundamentalmente, de los materiales con los que se fabrique (en general acero y chapa de acero, aunque últimamente se utiliza aluminio), y su forma (más o menos compleja) que marcará su capacidad para soportar cargas.

Cada material tiene propiedades mecánicas y químicas determinadas, que le harán idóneo para una función concreta, dependiendo fundamentalmente del tipo de sollicitaciones a que se encuentre sometido.

Un factor a tener en cuenta también desde el punto de vista de seguridad, es la ligereza del mismo y su capacidad de deformación, pues cuanto menor sea la masa de la carrocería, menor será la energía a disipar para una velocidad dada.

### **2.4.2.- ACEROS**

Los aceros son aleaciones hierro – carbono que contienen menos del 1,7 % de carbono. El acero es un metal de color gris azulado. Su rotura presenta granos regulares, de espesor diferente según la calidad:

- Grande y brillantes en los aceros de poco contenido en carbono.
- Finos y apretados en los aceros de alto contenido en carbono.

El acero, es un material duro y elástico capaz de absorber impactos y que puede deformarse y extenderse en forma de alambres o chapas.

### 2.4.3 CLASIFICACIÓN

Según su composición se clasifican en:

- **ACEROS AL CARBONO.-** Se denomina también no aleados. Poseen en su composición hierro, carbono, pequeñas cantidades de manganeso (inferior al 1,6 %) y silicio (inferiores al 0,55%), como impurezas poseen fósforo y azufre (con contenidos limitados a un máximo de 0,0035%). Los aceros bajos en carbono tienen relativamente baja resistencia y alta ductilidad. Se utilizan para fabricar planchas para el conformado de distintas piezas de la carrocería del automóvil.
- **ACEROS ALEADOS.-** Además de las impurezas normales, contienen otros elementos metálicos aleados, que les proporcionan propiedades características tales como: su tenacidad, resistencia al calor, a la oxidación, al choque, al desgaste. Los principales elementos que se unen son: el cromo, níquel, vanadio, molibdeno, cobalto silicio, titanio, manganeso y wolframio.

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos, químicos o mecánicos, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas propiedades genéricas:

- Su densidad media es de 7850 kg/m<sup>3</sup>.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.

- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes.
- Su punto de ebullición es de alrededor de 3.000 °C.
- Es un material muy tenaz.
- Relativamente dúctil, con él se obtienen hilos delgados llamados alambres.
- Es maleable, se pueden obtener láminas delgadas llamadas hojalata.

#### **2.4.4.- CRITERIO DE SELECCIÓN DE MATERIALES**

Es necesario también establecer ciertos criterios de preselección en base a los cuales se escogerá el material de cada grupo que mejores condiciones presente.

Estos materiales se han escogido en base a las condiciones y esfuerzos a las cuales el autobús está sometido.

La resistencia que ofrecerá la estructura bajo circunstancias críticas de absorción de energía, los criterios son:

- Resistencia a la tracción
- Esfuerzo a la fluencia.
- Elongación.

##### **a) RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.**

La resistencia máxima a la tensión es alcanzada en la curva de tensión – deformación.

Si la muestra desarrolla un decrecimiento localizado en su sección (un estrangulamiento de su sección antes de la rotura), la tensión decrecerá al aumentar

la deformación hasta que ocurra la fractura puesto que la tensión se determina usando la sección inicial de la muestra.

Mientras más dúctil sea el metal mayor será el decrecimiento en la tensión en la curva tensión –deformación después de la tensión máxima.

Una estructura está sometida a un esfuerzo de tracción cuando se aplican dos fuerzas o cargas de sentido opuesto, que tienden a deformar la estructura por alargamiento.

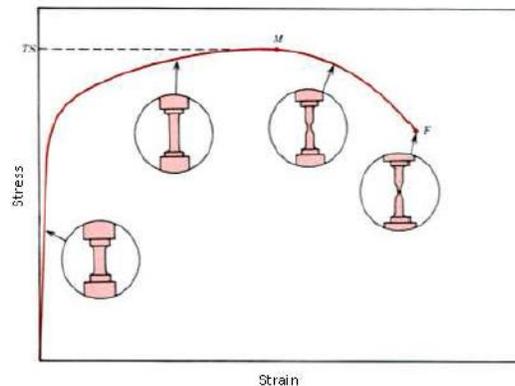


Fig. 2.14.-Curva Tensión-Deformación.

Fuente: [www.aceros en la construcción.com](http://www.aceros en la construcción.com), Propiedades mecánicas del material acero.

## b) ESFUERZO A LA FLUENCIA

El esfuerzo a la fluencia es el valor mínimo de esfuerzo para el cual el elemento comienza a deformarse plásticamente. Los materiales, en especial los más dúctiles, cuando comienzan a cargarse se van deformando linealmente proporcional con la carga, pero llega a un punto en el cual esta deformación aumenta más y de manera no lineal con pocos aumentos de carga.

La primera se llama rango elástico y la segunda se llama rango plástico. En el rango elástico si se deja de aplicar la carga, el elemento se restituye a su forma original,

mientras que una vez superado el límite de fluencia, si se retira la carga, el elemento conserva la deformación alcanzada.

Los valores para los diferentes materiales se toman con respecto a las normas ASTM.

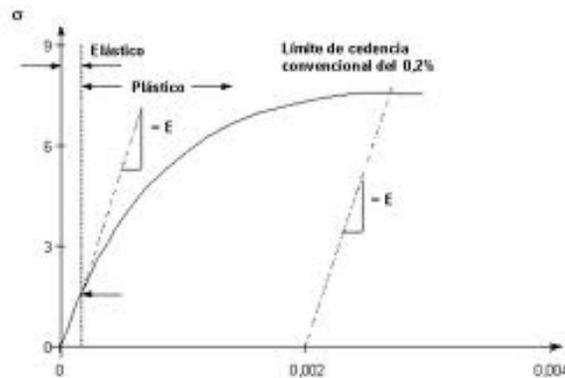


Fig. 2.15.-Curva Esfuerzo a la fluencia.

Fuente: [www.aceros en la construcción.com](http://www.aceros en la construcción.com), Propiedades mecánicas del material acero

### c) ELONGACION

Es la medida de la ductibilidad de un material determinada en un ensayo de tracción, es el incremento de la longitud en la distancia calibrada (medida después de la ruptura) dividida por la longitud original de la distancia calibrada.

Una elongación mayor indica una mayor ductibilidad.

La elongación no se puede utilizar para preceder el comportamiento de los materiales sometidos a cargas repentinas o repetidas.

Los valores de elongación para los diferentes materiales de acero se tomarán de sus respectivas normas ASTM

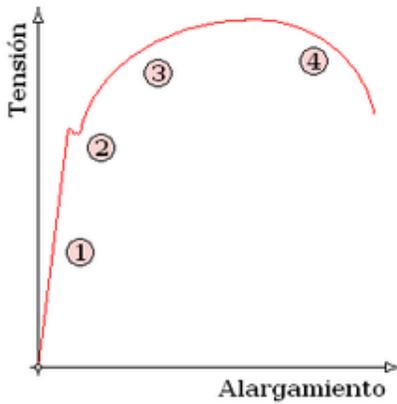


Fig. 2.16.- Curva Esfuerzo a la fluencia.

Fuente: [www.aceros en la construcción.com](http://www.aceros en la construcción.com), Propiedades mecánicas del material acero

#### 2.4.5.- SELECCIÓN DE MATERIALES

Ya en la preselección de los materiales para la construcción de la estructura del autobús para el presente proyecto, se seleccionó de manera definitiva los siguientes materiales los cuales se describen a continuación cada uno con sus propiedades mecánicas y químicas

##### Acero ASTM A-36

Tabla 2.4.- Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

PROPIEDAD MECANICA	Unidad (MPa)
Esfuerzo a la fluencia	250
Resistencia a la Tracción	400
Elongación en 2 plgs	20%

Fuente: Perfiles estructurales. Viga IPS

Tabla 2.5.- Composición química del acero ASTM A36

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% PESO
Carbono (C)	0.26 máx.
Fosforo (P)	0.040 máx.
Azufre(S)	0.05máx.

Fuente: Perfiles estructurales. Viga IPS

### Aplicaciones

Sirve para la construcción de estructuras metálicas remachadas, atornilladas o soldadas por ejemplo: torres de energía, torres para la comunicación y edificaciones.

En Ecuador este tipo de acero es el más utilizado para la construcción de carrocerías para autobuses.

Acero ASTM A-500 Gr. A.

Tabla 2.6.- Propiedades mecánicas del acero ASTM A-500 Gr. A.

PROPIEDAD MECÁNICA	Unidad (N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	E = 199 947.98 (N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad por cortante	G = 76 903 (N/mm <sup>2</sup> )
Elongación	32 %
Resistencia a la fluencia	Sy = 274.586 (N/mm <sup>2</sup> ) (mínima)

Fuente: Perfiles estructurales. Viga IPS

### Aplicaciones:

Sirve para la construcción de pisos de ómnibus, escaleras, embarcaciones navales pasadizos de plantas industriales, etc.

En toda construcción soldada que requiere alta resistencia. En la fabricación de viga puentes, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento autopartes, torres de alta tensión. Es utilizado para la construcción de carrocerías para autobuses.

## 2.4.6 ESPECIFICACIONES DE SOLDADURA

El proceso de soldadura empleado por la empresa para la unión de los diferentes elementos de la estructura es el proceso de soldadura, GMAW (Gas Metal Arc Welding), es el único que puede soldar todos los metales y aleaciones comerciales, emplea un gas de protección que puede ser activo (MAG, metal active gas CO<sub>2</sub>) o inerte (MIG, metal inerte gas Ar y He).

La función principal del gas es proteger el charco de soldadura de la atmósfera, ayudar a estabilizar el arco, regular la penetración y mejorar las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

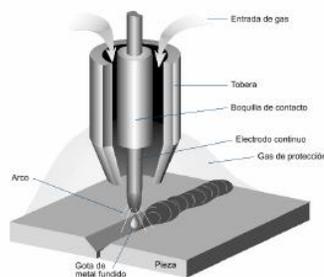


Fig. 2.17 Soldadura GMAW

Fuente: The LinconElectric,Company,new lessons Arc Welding.

El proceso se realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente, a modo de atmósfera protectora. A continuación se muestran las principales especificaciones del proceso de soldadura utilizado para la construcción de la unidad.

Tabla 2.7 Especificaciones del proceso de de soldadura utilizado en la construcción de la unidad de transporte.

PROCESO	MIG
Alambre	Norma AWS ER 70 S-3
Atmosfera de protección	Mezcla de gases (Ar 80%; CO <sub>2</sub> 20%)
Elongación	34 %
Resistencia a la tracción	510.212 (N/mm <sup>2</sup> ) (mínima)

Fuente: Manual para el montaje de carrocerías Hino Motors

## 2.5 PERFILES EMPLEADOS

Los perfiles empleados en la elaboración de las estructuras metálicas para carrocerías de autobuses interprovinciales que utiliza la empresa tienen las siguientes características:

- Especificaciones técnicas
- Especificaciones geométricas.
- Aplicaciones.

### 2.5.1 TUBO CUADRADO

ASTM A 500 (Grado A) esta especificación trata sobre perfiles, placas, y barras de acero al carbono de calidad estructural para usar en construcción remachada, atornillada o soldada para propósitos estructurales generales.

Tabla 2.8 Especificaciones geométricas dimensiones y pesos en el tubo cuadrado.

<b>MEDIDA NOMINAL (inch)</b>	<b>MEDIDA NOMINAL (mm)</b>	<b>ESPESOR NOMINAL (mm)</b>	<b>PESO (Kg/m)</b>
1"X1"	25X25	2.0	1.47
2"X2"	50X50	2.0	3.03
		2.6	3.90
1 1/2"X1 1/2"	40X40	2.0	2.41
		2.6	3.09
3"X3"	75X75	3.0	4.48

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

## Especificaciones de perfiles

Los perfiles utilizados en la construcción de la estructura en el autobús interprovincial son:

Tabla 2.9 Especificaciones geométricas, dimensiones del tubo cuadrado.

Unidad estructural	Perfil estructural	Espesor
PISO	50x50 (mm)	2.0 (mm)
	75x75 (mm)	3.0 (mm)
LATERALES	50x50 (mm)	2.6 (mm)
	50x50 (mm)	2.5 (mm)
FRONTAL Y POSTERIOR	25x25 (mm)	2.0 (mm)
	40x40 (mm)	2.6 (mm)
	50x50 (mm)	2.6 (mm)
TECHO	50x50 (mm)	2.6 (mm)
	50x50 (mm)	2.5 (mm)

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

En la empresa además de adquirir los tubos necesarios para elaborar la estructura se elabora en las instalaciones perfiles con una geometría propia las cuales se utilizan en la estructura del autobús para optimizar la fabricación que cuentan con las siguientes características.

Tabla 2.10 Especificaciones geométricas de perfiles elaborados en la empresa.

Nombre del perfil	MEDIDA NOMINAL (mm)	ESPESOR NOMINAL (mm)	Tipo de acero (norma)
Omega	70x50x35	2.0	ASTM A-36
Eses	20x50x35x20	2.0	ASTM A-36
Gs	25x50x120x20	2.0	ASTM A-36
Trían.	40x45x30x40x35	2.0	ASTM A-36
Us	50x50	2.0	ASTM A-36
Cs	50x20	3.0	ASTM A-36
Ángulo 1	40x40	3.0	ASTM A-36
Ángulo 2	50x50	3.0	ASTM A-36
Canal U	50x20	2.0	ASTM A-36

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

## CAPITULO 3

### 3.1 METODOLOGÍA DE MODELADO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Se inicia el proceso de modelado con la generación de la geometría de la estructura, la misma que, dado que se realizará un análisis de un sistema existente, el diseño se realiza de manera adecuada para arrojar resultados satisfactorios.

Seguidamente se estudiarán las condiciones externas que afectan el comportamiento del modelo de la unidad de transporte, tales como restricciones, posiciones iniciales. Tales parámetros definen el modelo matemático de la estructura.

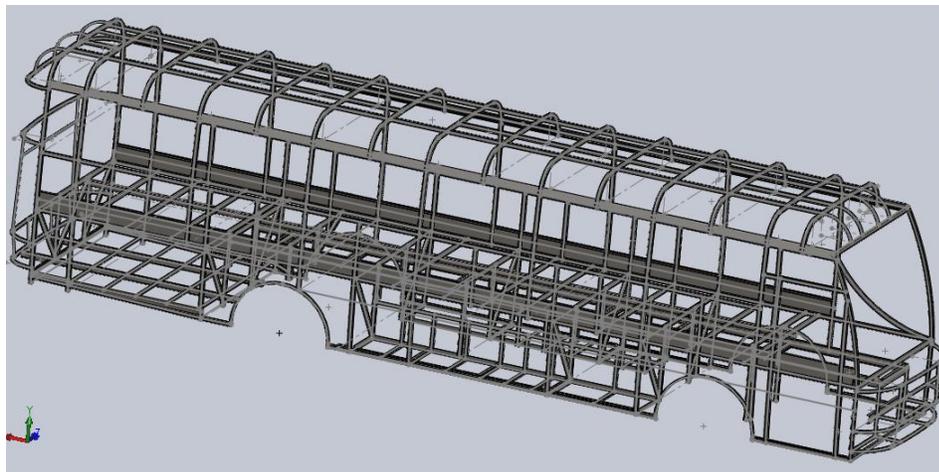


Fig. 3.1.- Estructura de tipo esqueleto de refuerzo SolidWorks 2011.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

## **3.2 CONDICIONES GENERALES**

### **3.2.1 CONSIDERACIONES PARA EL DIBUJO DE LA ESTRUCTURA**

- La estructura propiamente dicha para el presente caso es una estructura de esqueleto de refuerzo, se toman en cuenta además elementos como el techo, laterales, piso, refuerzos, maleteros, parte frontal y posterior.
- La estructura se une en forma rígida al bastidor.
- La resistencia y rigidez se deben a una integración entre el bastidor del chasis y la estructura de la carrocería.
- Todos los miembros estructurales están dibujados por separado.

### **3.2.2 CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DE LAS CARGAS**

- Las cargas son de naturaleza estática y dinámica.
- Sobre los nodos existen fuerzas concentradas y sobre los miembros estructurales existen fuerzas distribuidas.

### **3.2.3 CONSIDERACIONES ACERCA DEL MATERIAL**

- Los elementos se consideran elásticos lineales.
- Los miembros estructurales están constituidos de acero galvanizado y acero negro según sea su geometría basada en la norma JIS G- 3132 CLASS- 1 SPHT y para los perfiles elaborados en la empresa se utiliza la Norma ASTM A36.

### **3.2.4 CONSIDERACIONES DE APOYOS EN LA ESTRUCTURA**

- Los apoyos de suspensión se consideran fijos tanto en traslación como en rotación con los seis grados de libertad restringidos intentando simular la condición teórica de empotramiento perfecto sobre el chasis.
- Sujeción de chasis y la carrocería: Para los elementos de sujeción de la carrocería al chasis, debe respetarse el diseño y recomendaciones del fabricante del chasis para este propósito, dicho fabricante debe proveer obligatoriamente del manual, los planos y las especificaciones técnicas respectivas.
- El diseño y los cálculos correspondientes de los elementos que determinan el peso bruto vehicular, los debe tener disponibles el fabricante del vehículo, comprobando que dichos componentes soportan las cargas y fatigas a que se someta la unidad de acuerdo con su peso bruto vehicular de diseño y demás condiciones de seguridad, comodidad que deben cumplir.

### **3.2.5 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA EN COMPUTADORA.**

- La estructura analizada se encuentra unida al bastidor del autobús a través de conexiones soldadas al mismo, las cuales se consideran como puntos de apoyo.
- Es importante señalar que para estos apoyos se consideran todas las restricciones, es decir fijos en traslación y en rotación, no hay desplazamiento de ningún tipo.

Tabla 3.1.-Cargas estáticas en la estructura

Designación	Cargas Estáticas	Valor
CM	Carga Muerta	52724(N)
CV	Carga Viva	33810(N)
CMI	Carga maletero izquierdo	759.22(N)
CMD	Carga maletero derecho	1960.64(N)
CMP	Carga maletero Posterior	3969(N)

Fuente Propia: Basadas en la NTE-INEN 1323:2009

Tabla 3.2..-Cargas dinámicas en la estructura

Designación.	Cargas Dinámicas	Valor
CF	Cargas de frenado	42901.53(N).
CAb	Cargas de aceleración Brusca	(-) 42901.53(N).
CRaf	Carga por resistencia al aire frontal	2391.65(N).
CG	Cargas de giro	16171.25(N).

Fuente Propia: Basadas en la NTE-INEN 1323:2009

### 3.3 MODELACIÓN GEOMÉTRICA DE LA ESTRUCTURA EN COMPUTADORA

#### 3.3.1 CREACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA

Gracias a la facilidad del programa SolidWorks para el dibujo en 3D permite crear la geometría de la estructura directamente.

Partiendo de los planos en 2D proporcionados por la empresa “Patricio Cepeda”<sup>4</sup> del Autobús interprovincial, se utilizó el paquete computacional AUTOCAD para la

---

<sup>4</sup> Patricio Cepeda.- Empresa vanguardista en la construcción de carrocerías para el transporte masivo de pasajeros dentro y fuera de la ciudad.

visualización, en el que se verificaron todas las medidas y lineamientos que requiere se cumplan en el RTE -043 Edición 2010.

Debido a la política de seguridad por la parte de la empresa en el manifiesto se prohibió la publicación de cualquier tipo de información referente a planos del autobús en cuestión.

Por tal motivo, se publica únicamente medidas de conocimiento general sin abordar a profundidad todas las medidas.

### 3.3.2 PROCEDIMIENTO

a.- Utilizando el programa SolidWorks, dibujamos el modelo de la estructura de la carrocería mediante líneas que representan el eje centroidal de todos los perfiles estructurales del sistema, tomando en cuenta las zonas en donde existen curvaturas, de esta manera llegando a obtener un diagrama de líneas, como se muestra en la figura 3.2

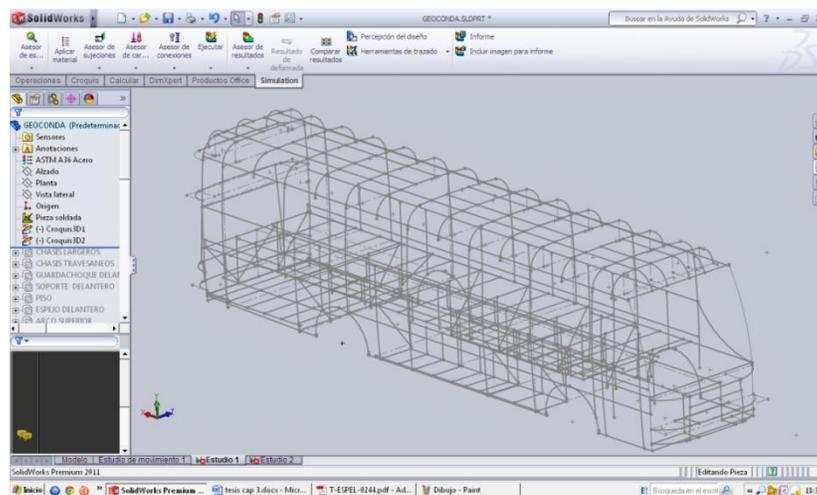


Fig.3.2.-Modelado de líneas estructura de esqueleto para bus interprovincial.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

b.- Una vez realizado todo el diagrama de líneas, un punto muy importante a tener en consideración es comprobar, que todas se unan entre sí de manera que al insertar los perfiles esto no conlleve un error.

c.- Ya comprobado el literal anterior, insertamos los miembros estructurales, pero, como se trata de perfiles que no están dentro de la biblioteca de SolidWorks, y tienen una geometría diferente a los estándares se realiza varias operaciones previas a este número.

d.- Para crear los nuevos miembros estructurales vamos a la pantalla de Solid Works modelamos la geometría del perfil que se desea como se puede observar en la figura 3.3.

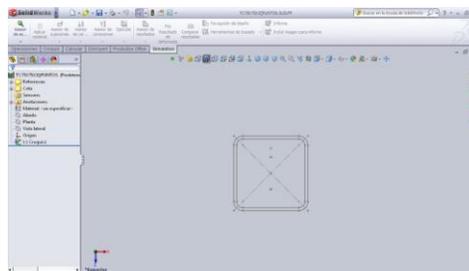


Fig. 3.3.-Geometria del perfil modificado tubo cuadrado 50X50X2.6.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

e.- En este punto no solo se crea miembros estructurales estándares como cuadrados, rectangulares, tipo U, sino se puede crear nuevos perfiles con geometría propia.

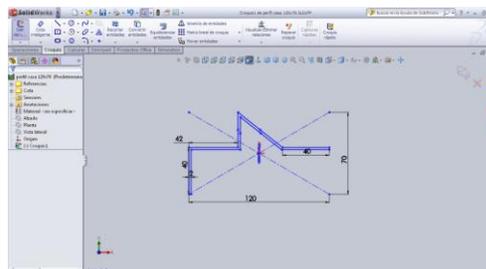


Fig. 3.4.-Geometría del nuevo perfil tipo triangulo.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

f.- Procedemos a guardar en la biblioteca de SolidWorks, los nuevos perfiles de manera que se pueda contar con todos, por consiguiente resultara de manera más fácil únicamente asignar a las diferentes líneas los respectivos miembros estructurales como se muestra en la figura 3.5.

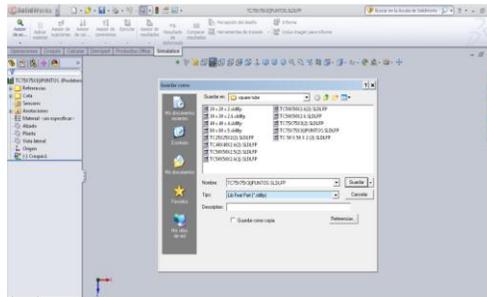


Fig. 3.5.-Guardar nuevo perfil a biblioteca de SolidWorks.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

g.- Lo más importante es direccionar en la carpeta donde están los miembros estructurales WELDMENT PROFILES, seleccionar la carpeta que contiene el sistema de unidades (ISO ,ANSI ), al que está trabajando, ubicar en la carpeta que desee este el nuevo perfil, SQUARE TUBE,PIPE, CHANEL C. Y como último paso seleccionamos la extensión que debe tener el nuevo perfil (.SLDLFP).

h.- Una vez guardado el perfil, agregarlo a la biblioteca, ubicándose en el icono de croquis y agregar a la biblioteca.

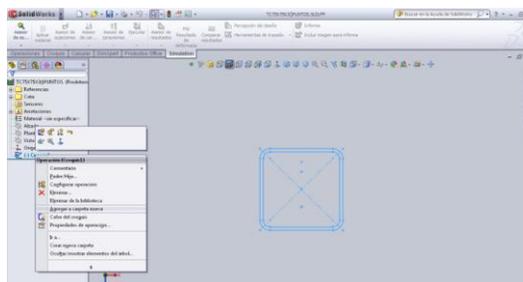


Fig. 3.6.- Agregar nuevo perfil a biblioteca de SolidWorks.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011.

### 3.3.3.- ASIGNACIÓN DE LAS SECCIONES Y MATERIAL A UTILIZAR

Se asigna cada una de las secciones al croquis de líneas tomando en cuenta la unión entre los perfiles y la visualización opción que el programa únicamente permite entre dos secciones del mismo tipo.

El procedimiento es el siguiente:

a.-Seleccionamos en la barra de herramientas la opción, INSERTAR, PIEZA SOLDADA Y MIEMBRO ESTRUCTURAL, para todos los perfiles.

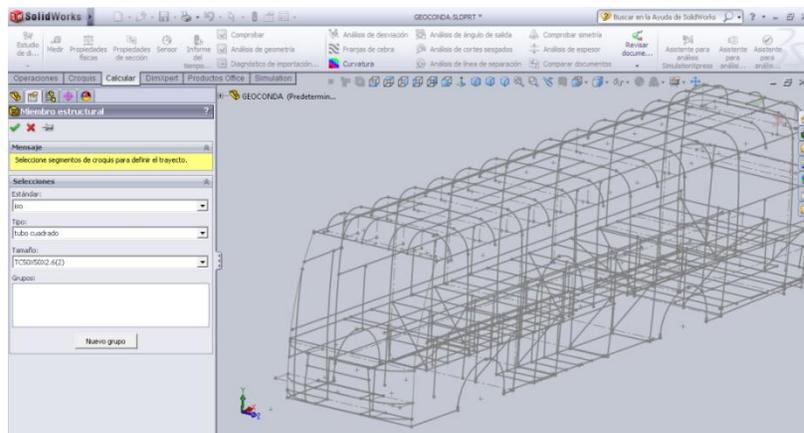


Fig. 3.7.- Asignación al croquis 3D de los miembros estructurales.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

b.- La mejor manera de llevar a cabo este paso es centrarse en las partes principales que tiene la estructura que son: chasis, piso, cerchas completas, arcos de cerchas, parte frontal, parte posterior, techo, maletero posterior, maletero derecho y maletero izquierdo.

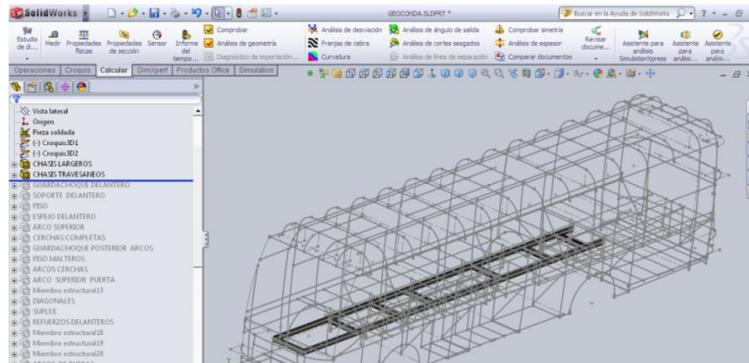


Fig. 3.8.- Asignación miembros estructural chasis del autobús.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

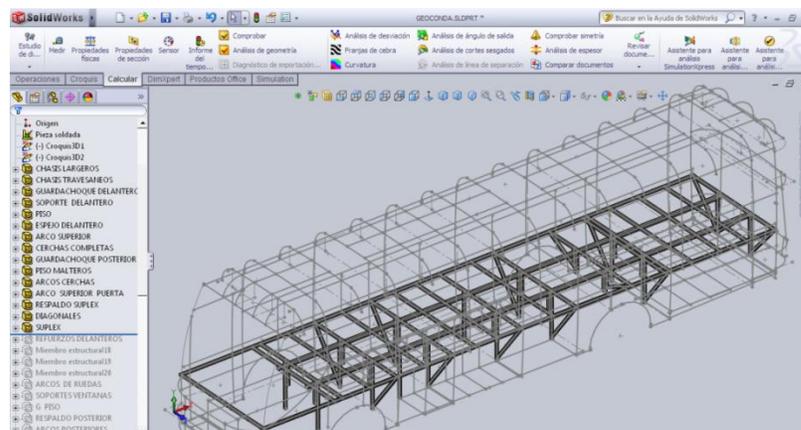


Fig. 3.9.- Asignación de miembros estructurales al piso del autobús.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

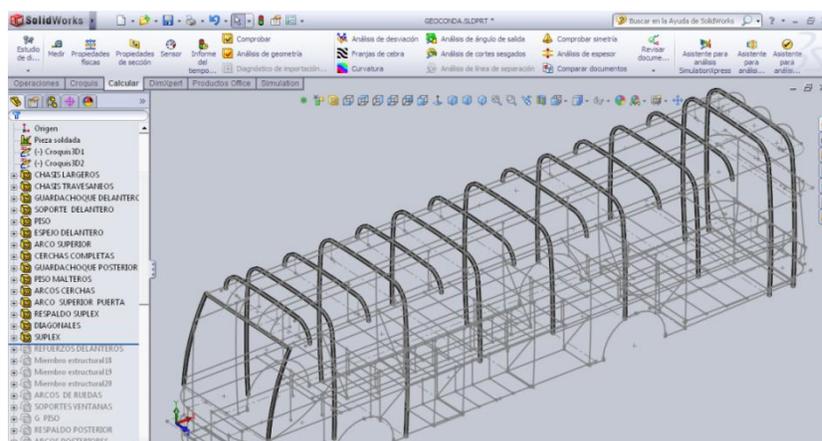


Fig. 3.10.- Asignación de miembros estructurales cerchas completas autobús.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

c.- Ya asignados todos los miembros estructurales se tiene como resultado la estructura del autobús mostrada en la figura 3.11.

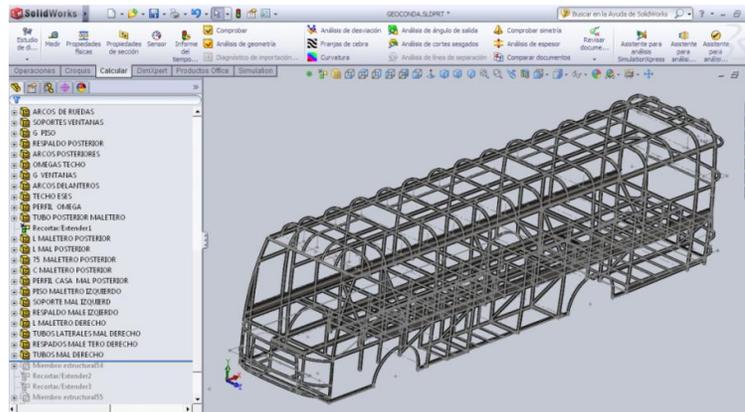


Fig. 3.11.- Estructura completa autobús interprovincial

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

d.- Una vez concluida totalmente la estructura se asigna el material a los miembros estructurales, para el presente caso tenemos una fusión de materiales se combina entre el Acero estructural ASTM A36, y el ASTM A 500 Grado A. Para el presente estudio se seleccionará el Acero estructural ASTM A36.

e.-De tal manera nos ubicamos en la pestaña del material aun sin asignar y escogemos en la lista el material seleccionado, tomando en cuenta la norma a seguir como se muestra.

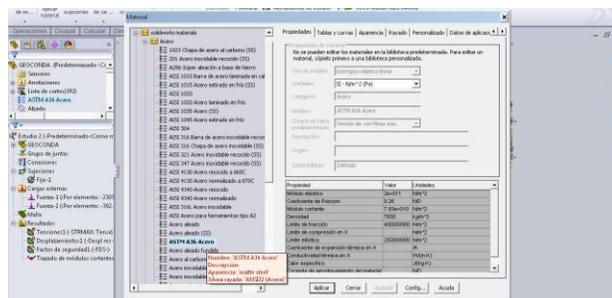


Fig. 3.12.- Selección del material ASTM A 36 propiedades mecánicas.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

### 3.4 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN COMPUTADORA.

A continuación, la estructura debe ser sometida a situaciones de esfuerzos y cargas a las que está establecida en una realidad para lo cual se realizó un estudio previo de las consideraciones a tomar.

#### 3.4.1 TIPO DE ESTUDIO A REALIZAR

##### a.- CONSIDERACIÓN.

- Para el caso se procede con un estudio de tipo cuasi-estático que significa que la unidad de transporte es estable.

##### a.1.- PROCEDIMIENTO.

- Activamos en los complementos la opción SIMULATION para el análisis de esfuerzos y cargas.
- Seleccionamos la opción de ASESOR DE ESTUDIO, nuevo estudio y de tipo ESTÁTICO.

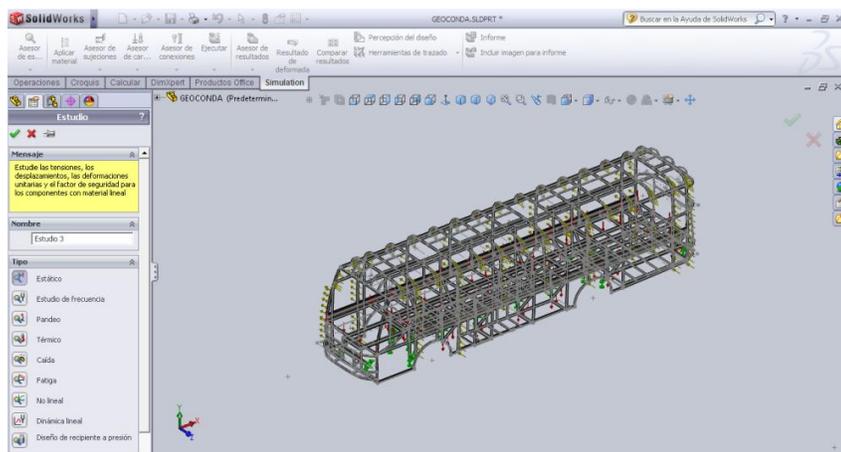


Fig. 3.13.-SIMULATION, Estudio de tipo estático.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

### 3.4.2 TIPOS DE JUNTAS, UNIONES.

#### a.- CONSIDERACIÓN.

- Se refieren al tipo de unión entre los miembros estructurales deben ser compactos, no debe existir ningún tipo de abertura, esto no permitiría el mallado<sup>5</sup> de la estructura, el programa considera la unión como soldada.

#### a.1.- PROCEDIMIENTO.

- En la ventana del nuevo estudio seleccionamos la opción GRUPO DE JUNTAS escogemos la opción editar y escogemos CALCULAR.
- De esta manera se calcula las nuevas juntas en nuestra estructura verificando si la unión de un miembro estructural es errónea, paso muy importante pues no permite seguir el estudio de haber fallos.

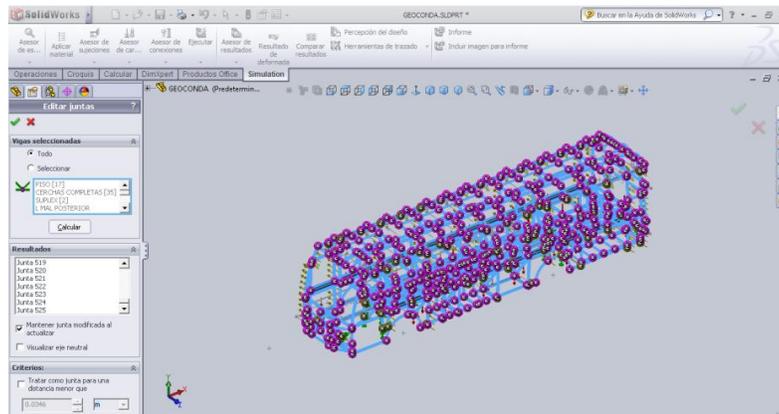


Fig. 3.14.- Cálculo de juntas.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

<sup>5</sup> Mallado del miembro estructural discretización en el mayor numero de partes del elemento método de los elementos finitos.

### 3.4.3 SUJECIONES EN LA ESTRUCTURA

#### a.- CONSIDERACIÓN.

- Tomando en cuenta que la estructura se une en forma rígida al bastidor, los apoyos de la suspensión serán considerados como fijos tanto en traslación como en rotación, con los seis grados de libertad restringidos, con la finalidad simular la condición de empotramiento perfecto sobre el chasis.

#### a.1.- PROCEDIMIENTO

- En la ventana estudio 1 seleccionamos la opción sujeciones, y escogemos geometría fija.
- Seleccionamos los puntos de apoyo ya en la estructura los cuales van a ser considerados como empotramientos perfectos, como se muestra.

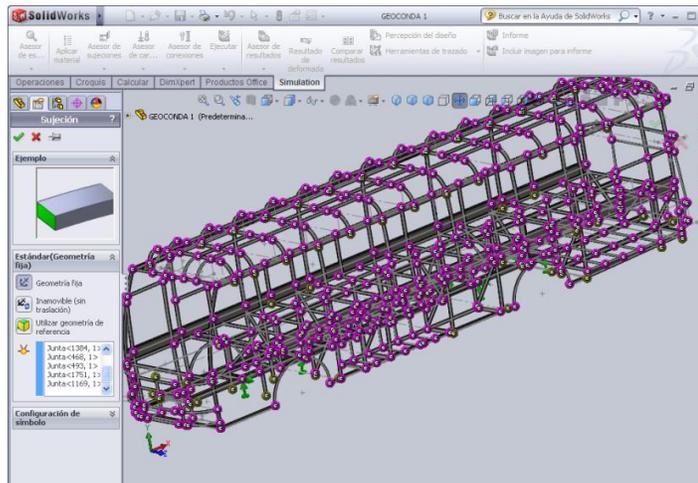


Fig. 3.15.- Selección de los 8 puntos de sujeción.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

### 3.4.4 ASIGNACIÓN DE CARGAS A LA ESTRUCTURA

#### a.- CONSIDERACIONES

Para el diseño del sistema estructural se han tomado en cuenta cinco cargas dos de carácter estático, carga muerta (CM), carga viva (CV), y tres de carácter dinámico carga de frenado (CF), carga de giro (CG), carga de resistencia al aire frontal (Raf). Las cargas son consideradas distribuidas sobre toda la estructura.

Para el análisis se ha empleado el método de LRFD (Load resistance factor design) teniendo la siguiente combinación de cargas.

Tabla 3.3.- Combinación de cargas 1(1.2 CM + 0.5CV + 0.5CF + 1.3CRaf.)

Designación.	Cargas Estáticas	Valor
CM	Carga Muerta	63268.8(N)
CV	Carga Viva	16905(N)
CMI	Carga maletero izquierdo	759.22(N)
CMD	Carga maletero derecho	1960.69(N)
CMP	Carga maletero Posterior	3969(N)
CF	Carga de frenado	21450.765(N)
CRaf	Carga por resistencia al aire	3109.14(N)

Fuente Propia: Basadas en la NTE-INEN 1323:2009

Tabla 3.4.- Combinación de cargas 2 (1.2CM + 1.6CV + 0.5CG)

Designación.	Cargas Estáticas	Valor
CM	Carga Muerta	63268.8(N)
CV	Carga Viva	54096(N)
CMI	Carga maletero izquierdo	759.22(N)
CMD	Carga maletero derecho	1960.69(N)
CMP	Carga maletero Posterior	3969(N)
CG	Carga de giro	8085.63(N)

Fuente Propia: Basadas en la NTE-INEN 1323:2009

### a.- PROCEDIMIENTO

Dentro del estudio seleccionamos la opción de carga externa, editamos la definición y aplicamos la carga. Para la presente caso sumamos la carga muerta (CM), más la carga viva (CV), las mismas se aplican en un plano correspondiente. Plano de planta y con un valor de fuerza de 2227.05 (N), distribuidas entre 36 vigas, es muy importante dividir el valor total de la fuerza entre los elementos seleccionados.

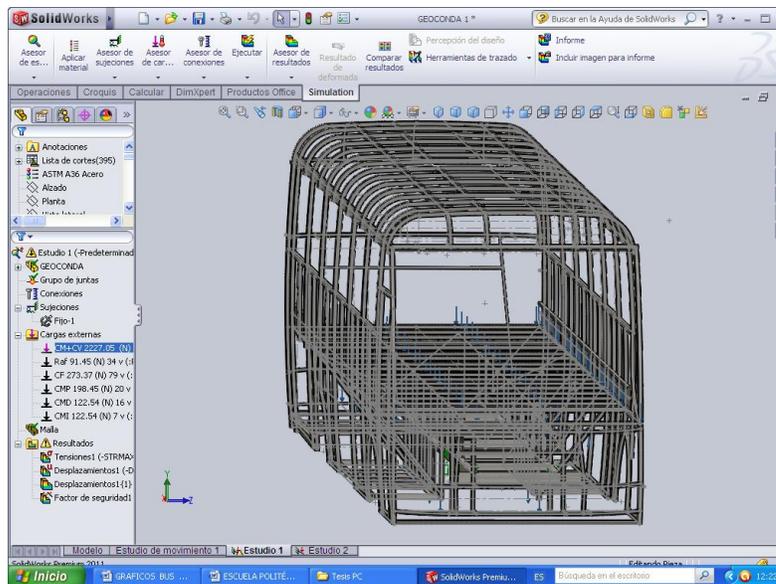


Fig. 3.16.- Aplicación CM+CV.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

La carga de Frenado (CF) se distribuye entre 79 vigas, fuerza que está ubicada en un plano vista lateral con un valor de 273.37 (N) en cada elemento. Se toma la referencia de tener una velocidad de 80 (Km/h) partiendo del parámetro de frenado de pánico<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup>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.

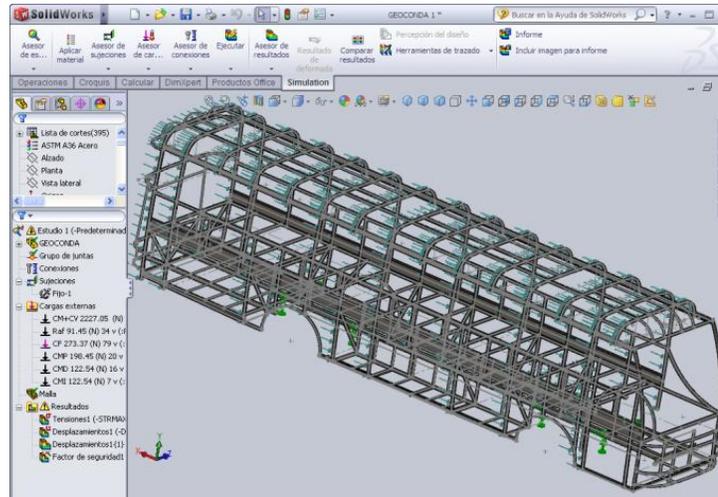


Fig. 3.17.- Aplicación carga de frenado (CF).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

La carga de resistencia al aire Frontal (Raf), se aplica sobre el plano vista lateral correspondiente al eje de coordenadas YZ, sobre 34 vigas con un valor de la fuerza de 91.45 (N) por elemento.

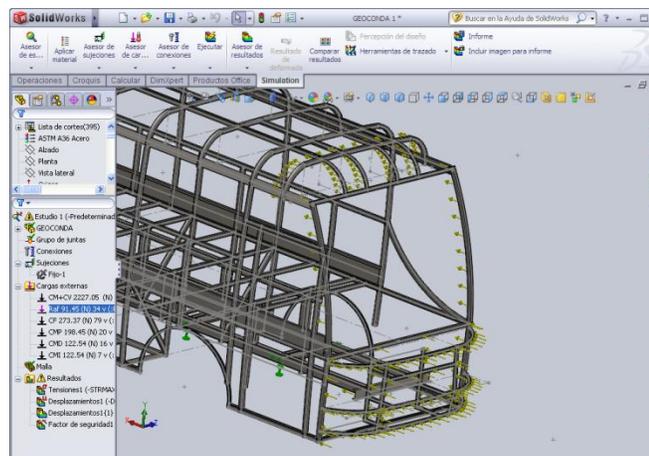


Fig. 3.18.- Aplicación carga de resistencia al aire frontal (CRaf).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Y por último la se asigna la carga de giro (CG) a la estructura, la cual sirve para diferentes estados y combinaciones de cargas se aplica en el plano de vista alzado sobre 64 vigas con un valor de la fuerza de 126.33 (N) por elemento.

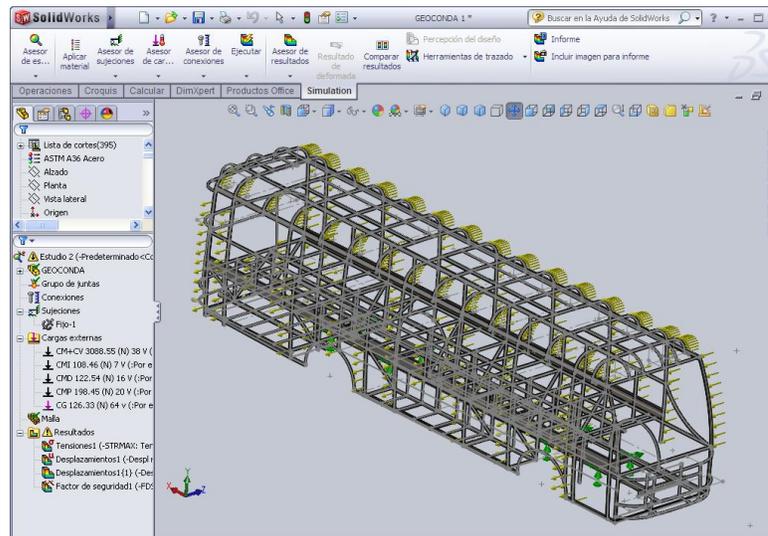


Fig. 3.19.- Aplicación carga giro (CG).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Dentro de las cargas vivas es necesario tener en cuenta la carga de los maleteros o equipaje. La norma INEN NTE-1323 clarifica que está prohibido el uso de accesorios o parrillas en la parte superior de la unidad de transporte.

Por tal motivo dichas cargas, se distribuyen en 2 maleteros en cada parte lateral del autobús, y uno en la parte posterior. Cada uno con volumen diferente como se muestra a continuación.

En la primera carga tenemos el maletero izquierdo con un volumen de  $0.77 \text{ (m}^3\text{)}$ , la carga se aplicada con respecto al plano de planta, y es distribuida entre 7 vigas y con un valor de 108.46 (N), por cada elemento (viga).

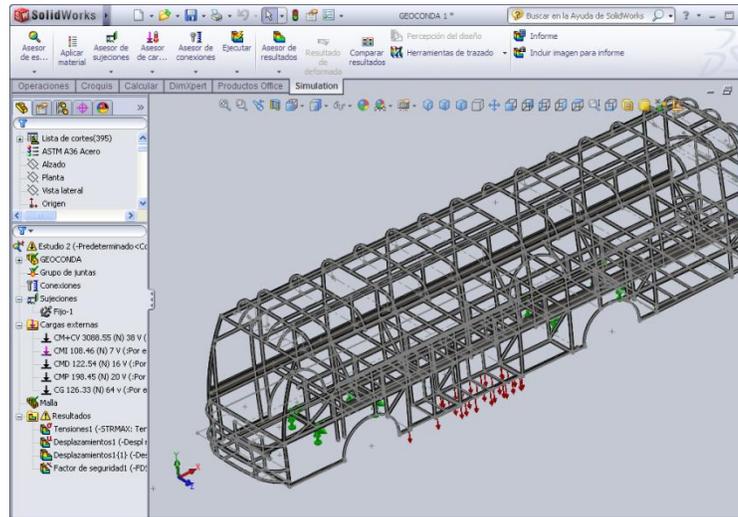


Fig. 3.20.- Aplicación carga maletero izquierdo (CMI).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

La carga del maletero derecho tiene un volumen de  $2 \text{ (m}^3\text{)}$ , en el cual todo se destina para el equipaje, la carga se aplica en el plano de planta distribuido entre 16 vigas y con un valor de fuerza de 122 (N) por elemento. El plano corresponde al eje coordenado XZ.

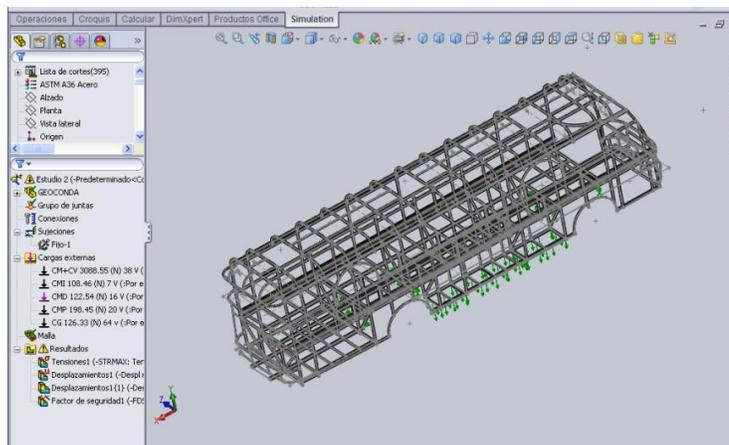


Fig. 3.21.- Aplicación carga maletero derecho (CMD).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

La última carga y que tiene mayor influencia por su volumen el maletero posterior con un volumen de  $4.05 \text{ (m}^3\text{)}$ , en el cual todo está destinado para el equipaje, la carga es aplicada en el plano de planta distribuido entre 20 vigas y con un valor de fuerza de 198.6 (N) por elemento.

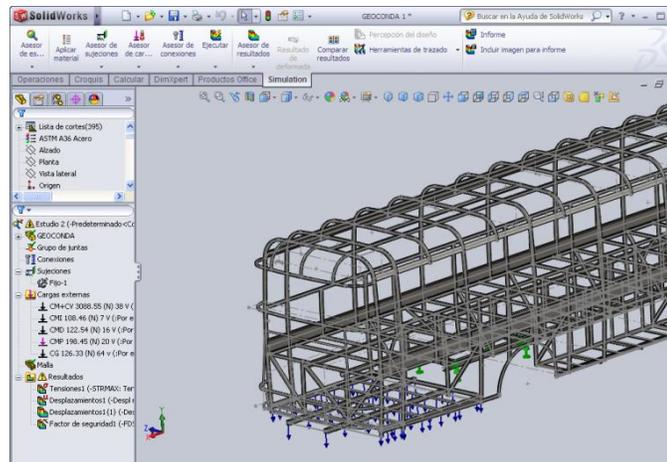


Fig. 3.22.- Aplicación carga maletero posterior (CMP).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Una vez ya establecidos cada uno de los esfuerzos y cargas seleccionamos la opción de mallado que tendrá nuestra estructura.

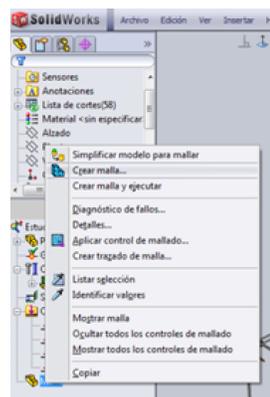


Fig. 3.23.- Selección del tipo de mallado, mallado de viga.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Ya en la ventana que se genera determinamos la densidad de la malla por defecto el programa selecciona automáticamente una, y en la opción de parámetro de mallado se opta por el mallado estándar, y aceptar.



Fig. 3.24.- Selección de la densidad de malla, parámetros de mallado.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

De esta manera se visualiza el mallado de la estructura verificando que ningún miembro estructural se excluyó o borro ya que esto dará un análisis erróneo.

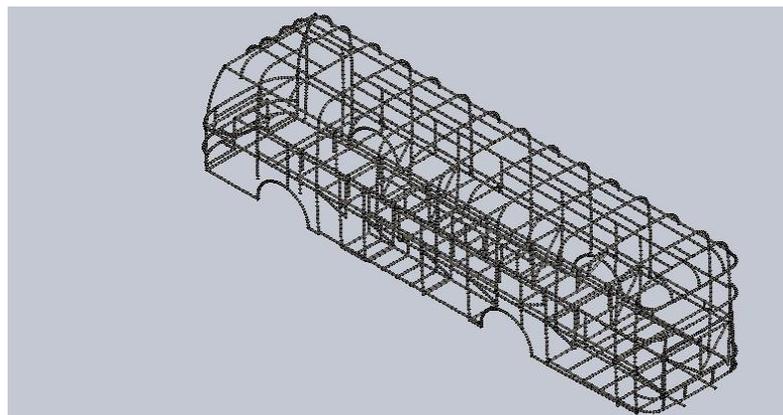


Fig. 3.25.- Mallado de la estructura del autobús.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Por último queda ejecutar el análisis y así poder visualizar los resultados por defecto el análisis nos muestra 4 resultados.

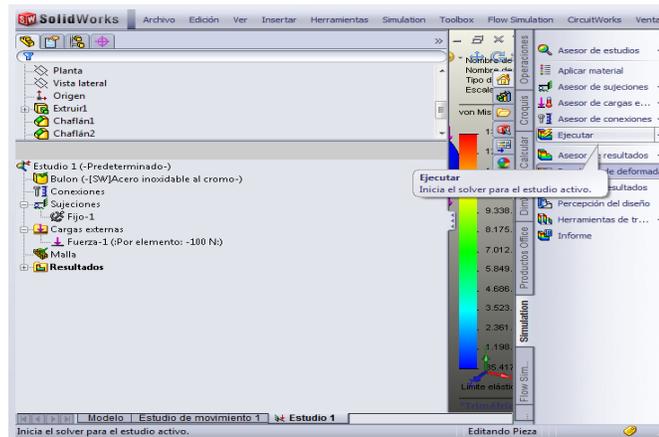


Fig. 3.26.- Selección icono para ejecutar el análisis.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Dentro de los resultados del análisis tenemos tensión axial y flexión más alta, trazado de desplazamiento, factor de seguridad, y el diagrama de cortes y momentos, en este último podemos seleccionar el elemento a analizar.

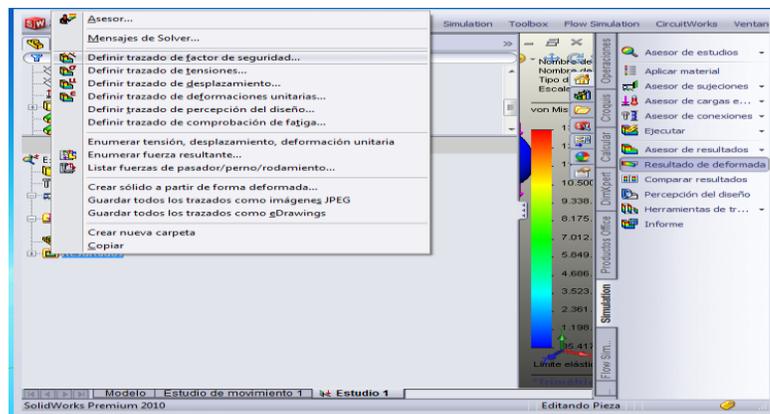


Fig. 3.27.-Resultados de visualización del análisis.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Ya ejecutado el estudio por defecto el programa permite visualizar el análisis de tensiones y flexión más alta, el cual se encuentra bajo el criterio de fallo de Von Mises, y también se puede visualizar el análisis de desplazamientos (URES).

La estructura se muestra como en la figura, por efecto de visualización el programa multiplica el tamaño real por un factor designado en la simulación, para mejor visión de los resultados.

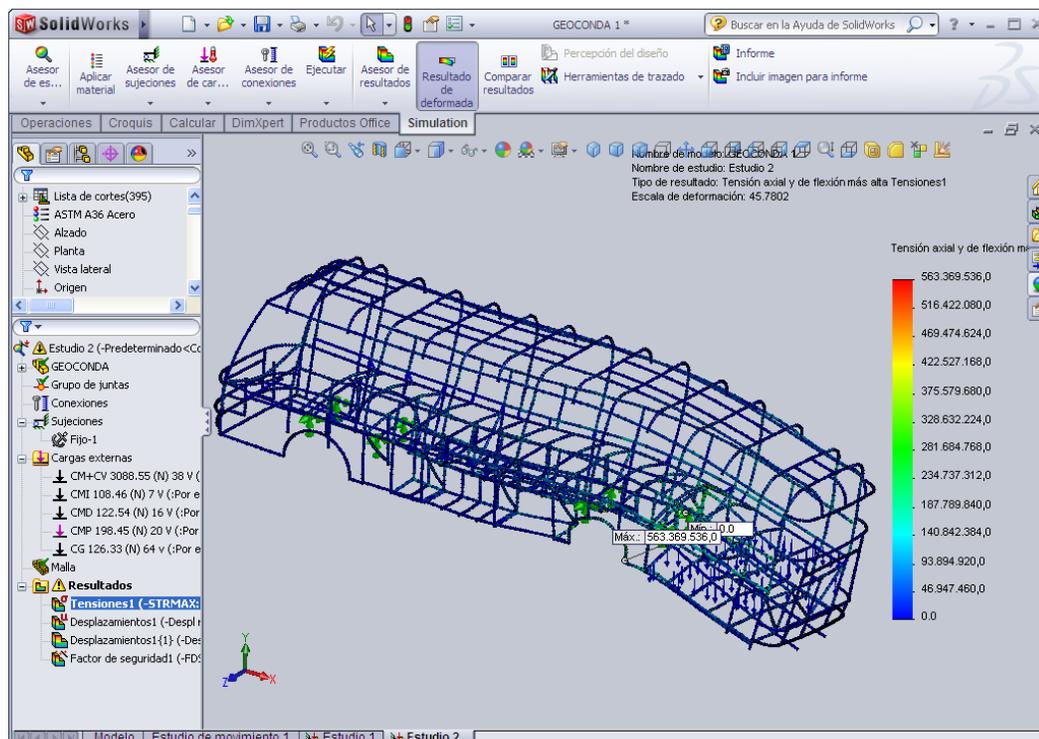


Fig. 3.28.-Resultados de visualización del estudio, criterio de fallo de tensión de Von Mises.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

## CAPITULO 4

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

La estructura analizada consta de 5759 elementos con un número total de 7545 nodos, el programa SOLID WORKS nos permite observar los efectos de las cargas aplicadas a todos los miembros estructurales, por colores, y una referencia numérica la cual indica el valor mínimo y el valor máximo del criterio de fallo.

#### 4.1 FILOSOFÍA DE UN DISEÑO SEGURO

##### 4.1.1 PREDICCIONES DE FALLA

Se debe comprender las diversas y eventuales fallas de los componentes bajo las cargas, para determinar un diseño que garantice que no va a fallar. Los factores que intervienen son: la naturaleza de la carga, (estática, repetida, invertida o fluctuante), el tipo de material (dúctil o frágil) y la cantidad de actividad de diseño y análisis que se puede justificar con la naturaleza del componente o producto que se diseñe.

##### a) MÉTODOS DE PREDICCIÓN DE FALLA

**Esfuerzo normal máximo:** empleado en esfuerzo estático uniaxial en materiales frágiles.

**Resistencia de fluencia:** empleado en esfuerzo estático uniaxial en materiales dúctiles.

**Esfuerzo cortante máximo:** empleado en esfuerzo estático biaxial en materiales dúctiles (moderadamente conservador).

**Energía de distorsión:** empleado en esfuerzo biaxial o triaxial en materiales dúctiles (buen método).

**Gerber:** empleado en esfuerzo fluctuante en materiales dúctiles (buen método).

#### 4.1.2 FALLA DE MATERIALES DÚCTILES BAJO CARGA ESTÁTICA

Aunque los materiales dúctiles se fracturarán si se esfuerzan estáticamente más allá de su resistencia máxima a tensión, en piezas de maquinarias generalmente se considera que su falla ocurre cuando se deforma o cede bajo carga estática. El límite de fluencia elástico de un material dúctil es apreciablemente inferior a su resistencia máxima.

Se ha comprobado que el método de **energía de distorsión** es el mejor estimador para materiales dúctiles bajo cargas estáticas o para esfuerzos normales, cortantes o combinados totalmente reversibles.

Se requiere la definición del término de Von Mises representado por el símbolo  $\sigma'$ , que se puede calcular para esfuerzos biaxial con los esfuerzos principales máximo y mínimo  $\sigma_1, \sigma_2$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \quad \text{Ec: 4.1}^7$$

Existe falla cuando  $\sigma'$  es mayor que  $S_y$  (resistencia a la fluencia), para el presente método para el esfuerzo biaxial se requiere que el esfuerzo aplicado en la tercera dirección ortogonal  $\sigma_z$  sea cero.

Todos los métodos de diseño asegurarán que el valor del esfuerzo sea menor que la fluencia en materiales dúctiles, al garantizar que la pieza no se fracturará bajo una carga estática. Para materiales frágiles se asegurará que los valores de esfuerzo estén muy por debajo de la resistencia última a la tensión.

---

<sup>7</sup>Ec. Esfuerzo de Von Mises, Diseño de elementos de máquinas, Robert Mott, cuarta edición,

Una de las metas principales del análisis de esfuerzos es determinar el punto, dentro de un elemento sometido a cargas, que soporta el máximo nivel de esfuerzo.

El programa dentro del análisis de resultados permite visualizar cuatro cuantificaciones, para el presente estudio se enfatizara las tres primeras:

**Primer resultado.-** permite ver el tipo de carga que está sometido el cuerpo, sea esta de tipo normal, cortante o combinado, en que se muestra el valor del punto que tiene mayor esfuerzo es decir tiene la condición más crítica.

Esfuerzos normales:

$$\sigma_1 = \text{Tensión}$$

$$\sigma_2 = \text{Compresión}$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \text{Cortante}$$

**Segundo resultado.-** se muestra el valor de la deformación máxima que presenta el miembro estructural bajo la situación de cargas establecidas (URES mm)

**Tercer resultado.-** permite visualizar el factor de seguridad que representa la medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. (Fs)

#### 4.1.3 FACTOR DE DISEÑO

El término factor de diseño, N, es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En la mayor parte de los casos, la resistencia del material con que se fabricará el componente se divide entre el factor de diseño para determinar un esfuerzo de diseño, que a veces se llama esfuerzo admisible o esfuerzo permisible. Entonces, el esfuerzo real que se desarrolla en el componente

debe ser menor que el esfuerzo de diseño. Cuando no se cuenta con normas, el diseñador debe aplicar su criterio para especificar el factor de diseño adecuado.

Las consideraciones a tomar para especificar el factor de seguridad son: naturaleza de aplicación el ambiente, la naturaleza de las cargas sobre el componente, el análisis de esfuerzos, las propiedades del material y el grado de confianza en los datos que se emplean en el diseño, con todas estas consideraciones se toma en cuenta los siguientes factores de diseño.

a) Materiales dúctiles

Tabla 4.1 Factor de diseño, aplicación en materiales dúctiles.

<b>Factor de Diseño (N)</b>	<b>Aplicación:</b>
<b>1.25 a 2.0.</b>	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
<b>2.0 a 2.5.</b>	Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
<b>2.5 a 4.0.</b>	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos
<b>4.0 o más.</b>	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis e esfuerzos.

Fuente: Factor de diseño N.-, Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición, Robert L. Mott.

## 4.2 DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA POR CARGAS APLICADAS EN VIGAS.

El programa SolidWorks permite obtener la deformación para cada estado de carga e inclusive por las combinaciones de cargas definidas anteriormente.

### 4.2.1 Combinación de cargas 1. (1.2 CM + 0.5CV + 0.5CF + 1.3CRaf).

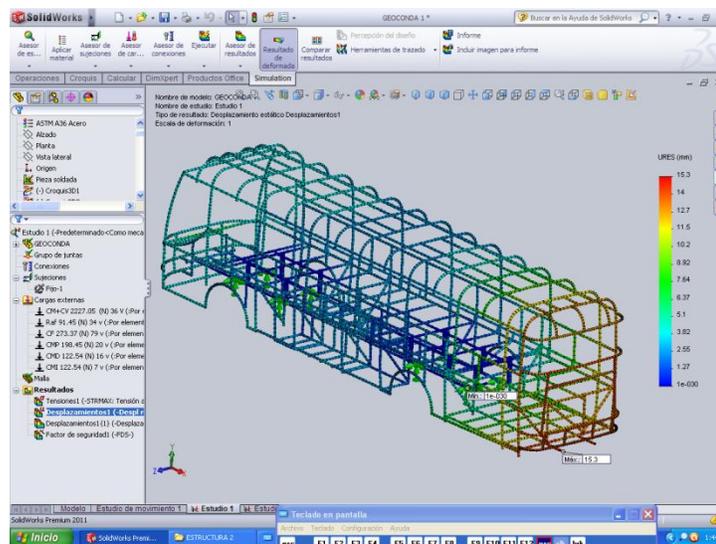


Fig. 4.1.- Deformación por la combinación de cargas (COMB.1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Según el método LRFD<sup>8</sup> (Load resistance factor design) se obtuvo los siguientes resultados: Desplazamiento máximo es de 15.3 mm producido en el piso del maletero posterior en el tubo cuadrado de 75x75x3, del lado izquierdo.

<sup>8</sup> Método (LRFD) por sus siglas en inglés design factor resistance of Load es decir que es el diseño por factor de carga y resistencia basado en el concepto de estado límite.

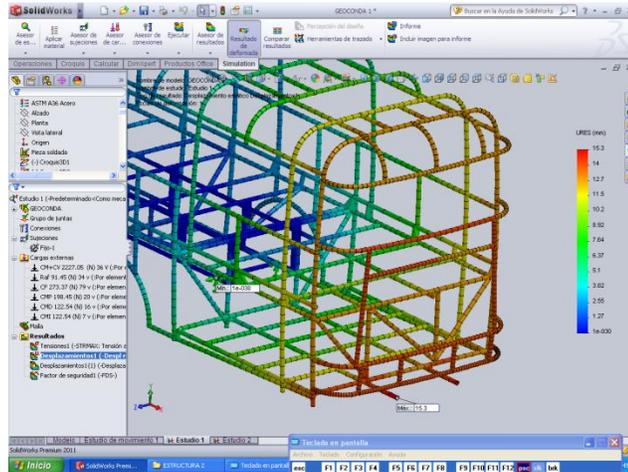


Fig. 4.2.- Desplazamiento máximo.

Fuente Propia; Paquete Computacional SolidWorks 2011

Desplazamiento mínimo es de  $1e-03\text{mm}$  producido en el larguero izquierdo del chasis

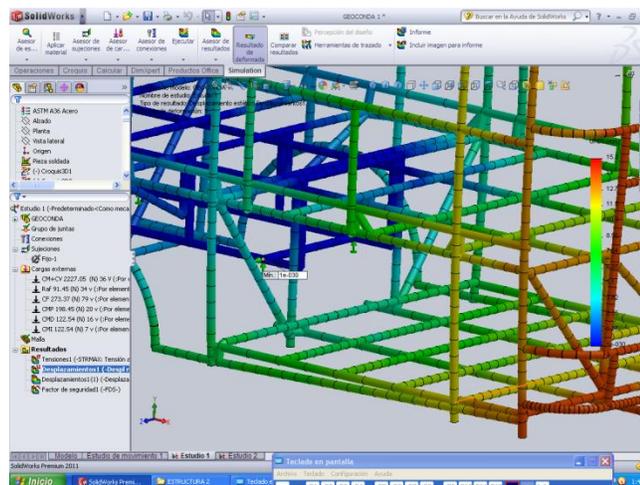


Fig. 4.3.- Desplazamiento mínimo

Fuente Propia; Paquete Computacional SolidWorks 2011

## 4.2.2 Combinación de cargas 2. (1.2CM + 1.6CV + 0.5CG)

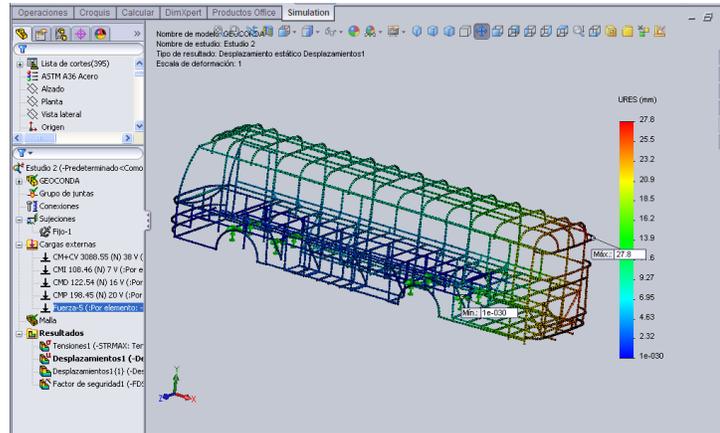


Fig. 4.4.- Deformación por la combinación de cargas (COMB.2).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Según el método LRFD (Load resistance factor design) se obtuvo los siguientes resultados:

- Desplazamiento máximo es de 27.8 (mm) producido en la parte posterior de la estructura del autobús, ubicada en el arco de cercha superior.

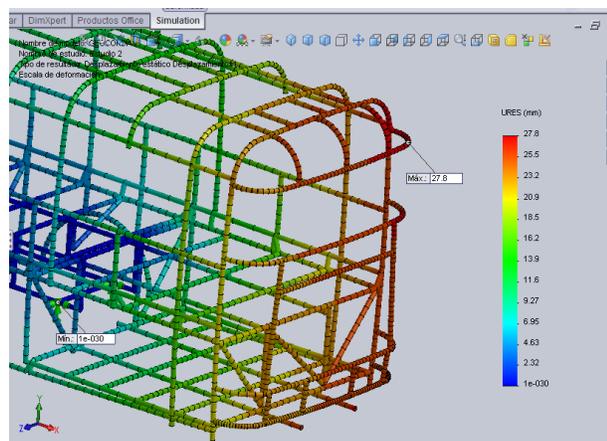


Fig. 4.5.- Desplazamiento máximo por (COMB 2).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

- Desplazamiento mínimo es de  $1e-03$ mm producido en el larguero izquierdo del chasis.

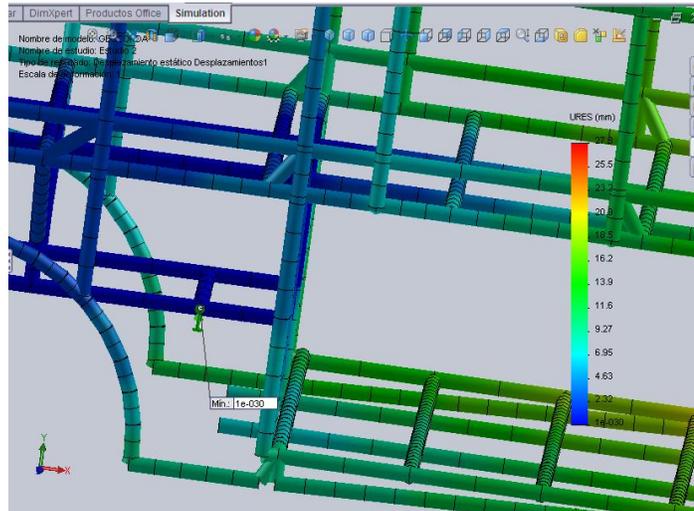


Fig. 4.6.- Desplazamiento mínimo por (COMB 2).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Se especifica en la NTE 1323, bajo la aplicación de las cargas combinadas, según los métodos (LRFD) y (ASD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores  $1/240$  veces su longitud.

### Combinación 1.

#### Cálculos realizados

- $L = 2934$  mm elemento piso maletero posterior
- Desplazamiento máximo del elemento  $(2934 / 240) = 12.22$  mm

### **Resultados SolidWorks**

- $L = 2934$  mm elemento piso del maletero posterior.
- Desplazamiento máximo del elemento = 15.3 mm

### **Combinación 2.**

#### **Cálculos realizados**

- $L = 2771$  mm parte posterior de la estructura arco de cercha superior.
- Desplazamiento máximo del elemento  $2771 / 240 = 11.54$  mm

### **Resultados SolidWorks**

- $L = 2771$  mm elemento arco de cercha superior guardachoque posterior.
- Desplazamiento máximo del elemento = 27.8 mm

## 4.3 EFECTOS DE LAS CARGAS APLICADAS EN LOS MIEMBROS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

### 4.3.1 ESFUERZOS COMBINADOS

Los elementos por lo general no están sometidos a un solo tipo de esfuerzo, más bien a la interacción de varios esfuerzos de manera simultánea se analizará dichos esfuerzos para localizar el punto más crítico en la estructura.

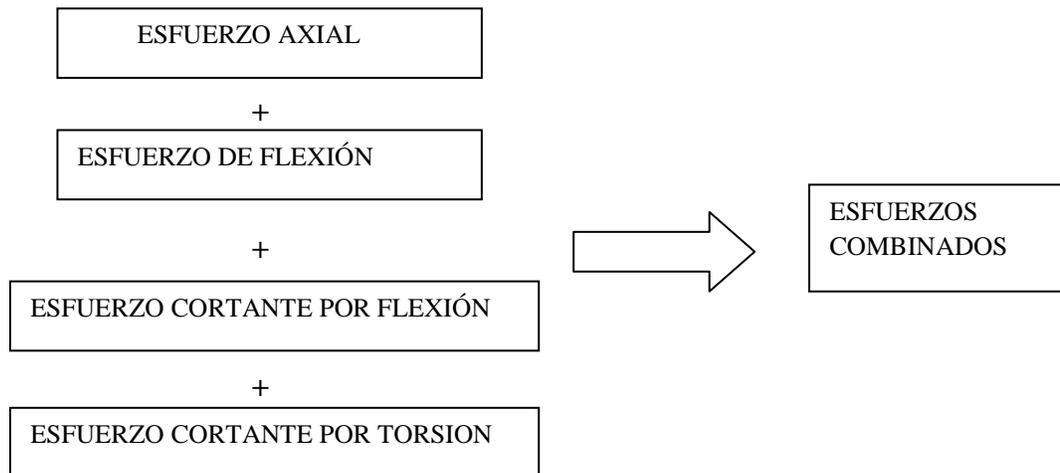


Fig. 4.7 Esfuerzos combinados

Fuente: [resistenciadematerialesteoria.blogspot.com](http://resistenciadematerialesteoria.blogspot.com)

Una viga es un elemento que soporta cargas transversales a su eje, estas cargas producen momentos de flexión en la viga, las cuales a su vez causan el desarrollo de esfuerzos de flexión. Los esfuerzos de flexión son esfuerzos normales estos son de tensión o de compresión. El esfuerzo cortante máximo en una sección transversal de una viga está en la parte más alejada del eje neutro de la sección

Los esfuerzos cortantes se deben al cortante directo es decir al cortante vertical en las vigas o la torsión, la acción de un elemento sujeto a corte es una tendencia a cortar al elemento, al ejercer un esfuerzo hacia abajo sobre una cara, y al mismo tiempo se ejerce un esfuerzo hacia arriba sobre la cara paralela opuesta.

Entonces, ciertos elementos estructurales estarán sujetos a la acción de dos o más tipos de esfuerzos, es decir, un elemento puede trabajar con esfuerzos axiales (compresión o tracción) y a la vez puede estar sometido a flexión y corte.

Cuando esto sucede se dice que el elemento está trabajando con esfuerzos combinados, en este caso se debe analizar cuál es la sección más crítica y que tipo de esfuerzo influye en mayor magnitud sobre esta.

El diseño de un elemento sometido a esfuerzos combinados se hace en base a la sección crítica y al esfuerzo que predomine sobre la misma.

## 4.4. RESULTADOS

### 4.4.1 COMBINACIÓN DE CARGAS 1

#### a) Esfuerzos normales

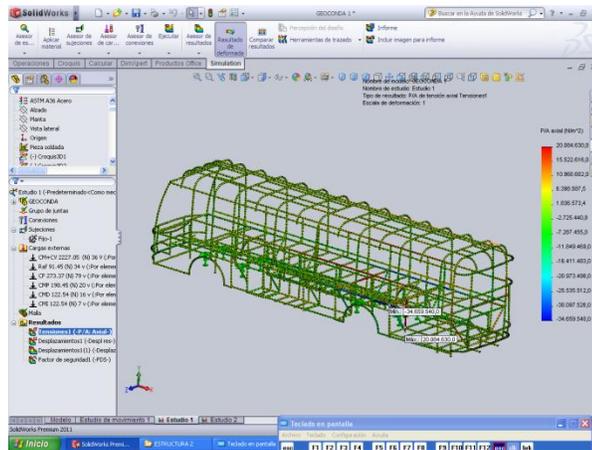


Fig. 4.8.- Esfuerzos normales en la estructura (COMB 1)

Fuente Propia: paquete computacional SolidWorks 2011

El esfuerzo normal máximo es de 20 MPa siendo este de un valor positivo, significa que el miembro estructural tiende a estirarse (tensión) afectando el soporte del suplex del lado izquierdo de la estructura.

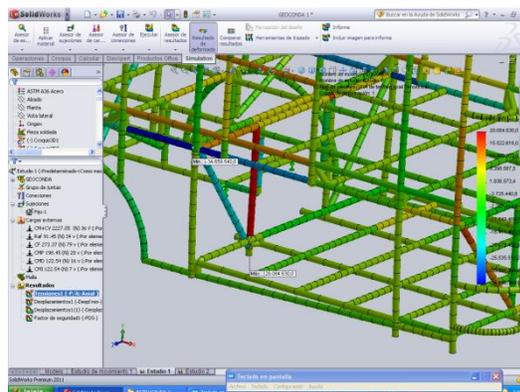


Fig. 4.9.- Esfuerzo normal de tensión (COMB 1).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El esfuerzo normal mínimo es de -34 Mpa siendo este un valor negativo significa que el miembro estructural tiende a comprimirse (compresión) afectando al larguero izquierdo del piso de la estructura.

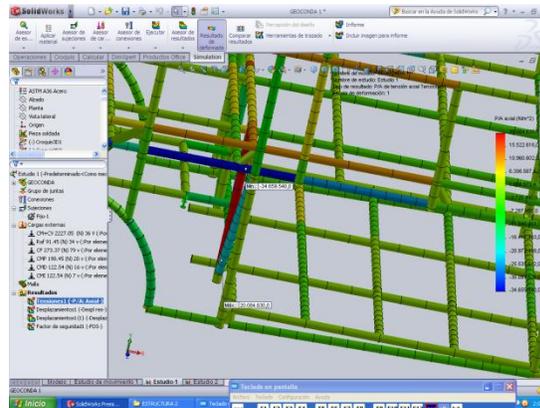


Fig. 4.10 Esfuerzo normal de compresión (COMB 1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

## b) Esfuerzos de tensión de cortadura

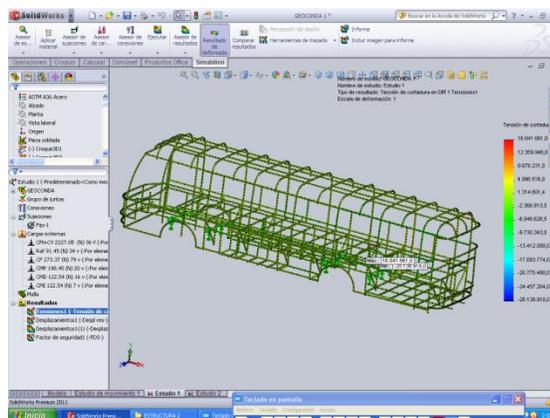


Fig. 4.11.- Esfuerzo de tensión de corte en la estructura (COMB 1).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Se obtuvo un valor máximo del esfuerzo de tensión de corte de 16 Mpa en el larguero del chasis lado derecho de la estructura, tiene tendencia a corte, debido a que la

carga está aplicada en el eje Y positivo con dirección hacia abajo sobre una cara del elemento.

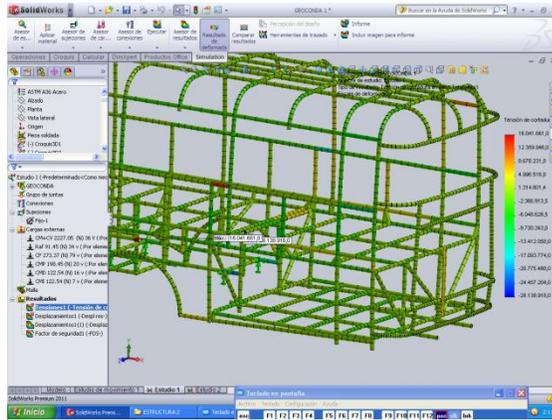


Fig. 4.12.- Esfuerzo de corte máximo (COMB 1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Se obtuvo un valor mínimo del esfuerzo de tensión de corte de -28Mpa el cual está ubicado en el tubo del piso de la estructura, el valor negativo indica que hay un esfuerzo de corte hacia arriba es decir en y negativo.

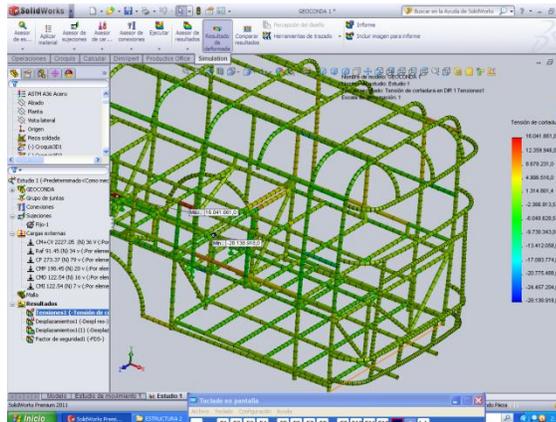


Fig. 4.13.- Esfuerzo de corte mínimo (comb1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

c) Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta.

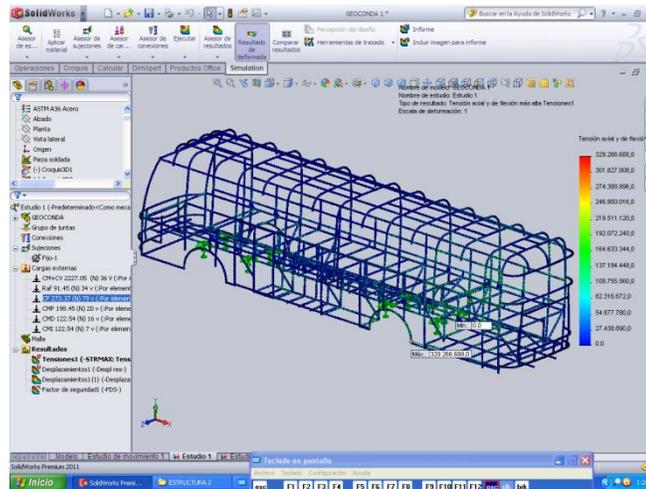


Fig. 4.14.- Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta (COMB 1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Se obtuvo un valor máximo de 329 Mpa de esfuerzo de tensión axial y de flexión ubicado en la parte lateral izquierda de la estructura, específicamente en la zona del arco en la rueda en el perfil tipo C.

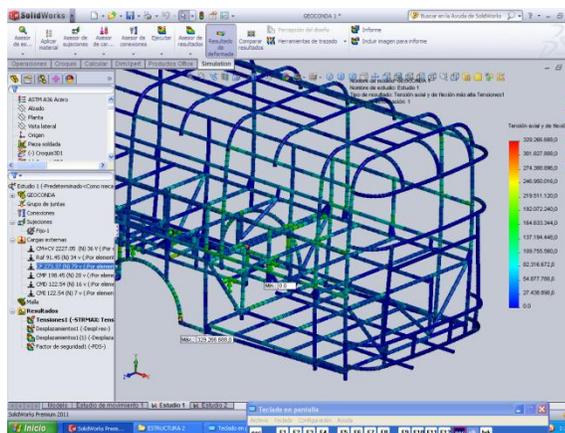


Fig. 4.15.- Esfuerzo de tensión axial y flexión máximos (COMB 1).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El factor de seguridad calculado para la COMBINACIÓN DE CARGAS 1 en el elemento con la condición más crítica:

$$N = \frac{S_y}{\sigma}$$

$S_y$ : resistencia de fluencia del material

$$S_y (ASTM - A36) = 250MPa$$

$$N = \frac{250MPa}{329MPa} = 0.76$$

#### d) Factor de seguridad de la estructura

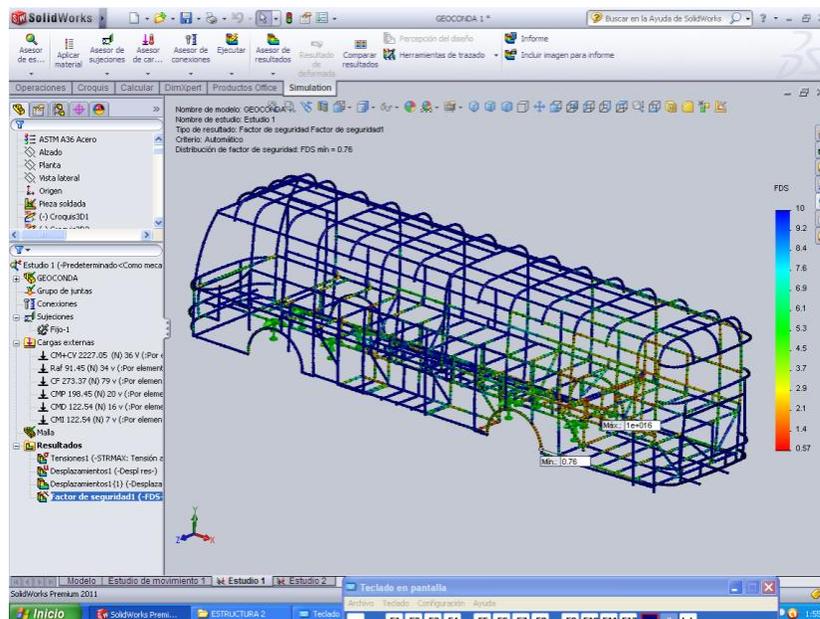


Fig. 4.16.- factor de seguridad (COMB 1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

## 4.4.2 COMBINACIÓN DE CARGAS 2.

### a) Esfuerzos normales

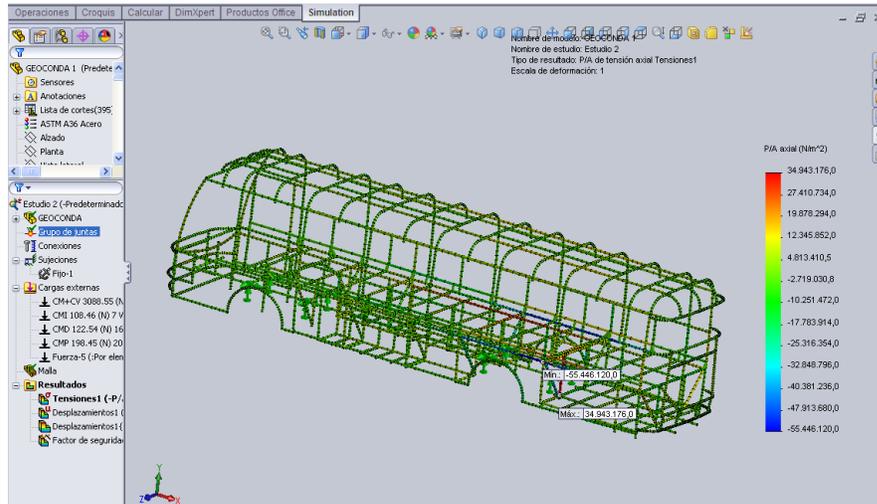


Fig. 4.17.- Esfuerzos normales en la estructura (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

El esfuerzo normal máximo mostrado en la figura es de 34 MPa siendo este de un valor positivo esto significa que el miembro estructural tiende a estirarse afectando directamente al refuerzo del suplex del lado izquierdo del piso de la estructura.

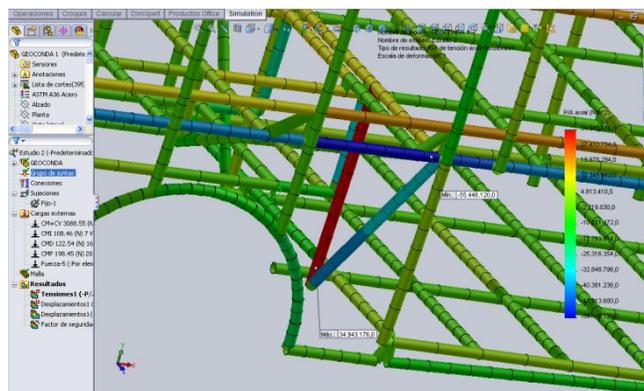


Fig. 4.18.- Esfuerzo normal de tensión (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

En la figura se muestra el valor mínimo del esfuerzo normal de -55 MPa afectado al larguero izquierdo del piso de la estructura nos indica que el elemento está sometido a compresión.

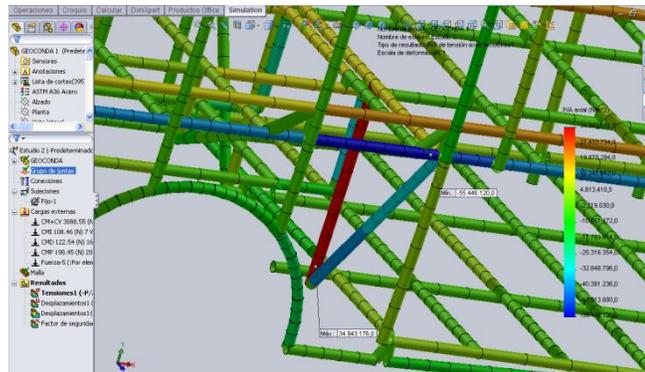


Fig. 4.19.- Esfuerzo normal de compresión (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

## b) Esfuerzos de tensión de cortadura

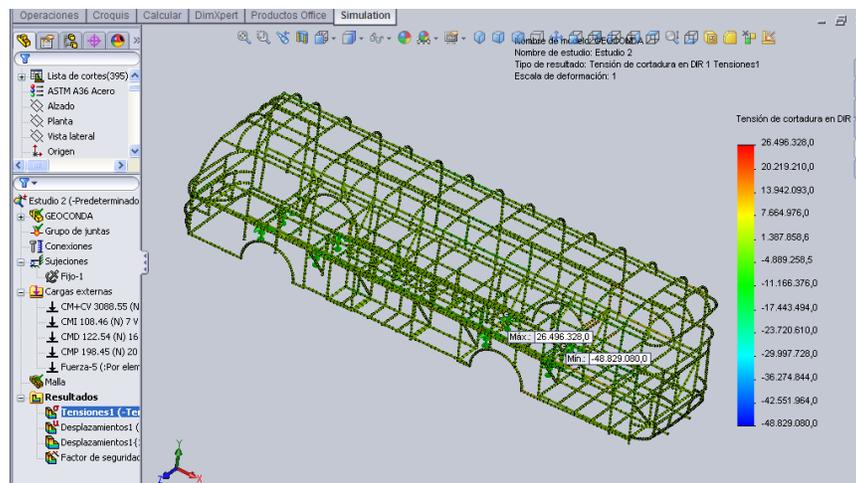


Fig. 4.20.- Esfuerzo de tensión de corte en la estructura (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

Valor máximo obtenido del esfuerzo de tensión de corte 26 MPa afectando el larguero derecho del chasis en la unión del soporte del suplex, este elemento está con tendencia a corte hacia abajo en el eje y positivo.

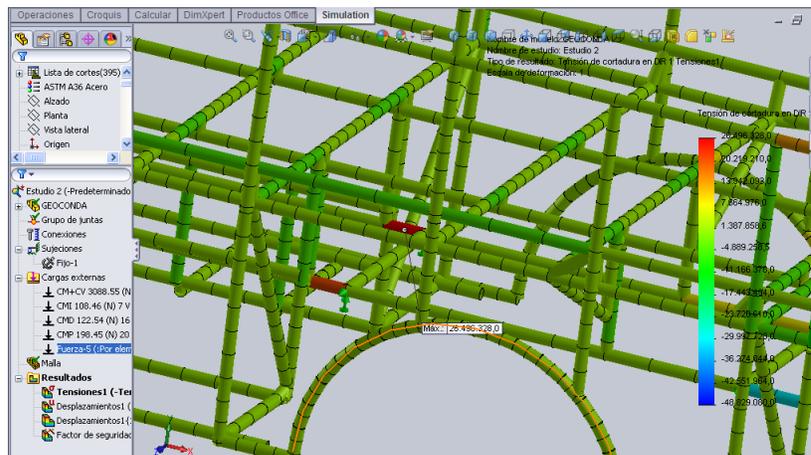


Fig. 4.21.- Esfuerzo de tensión de corte máximo (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011.

Valor mínimo de esfuerzo de tensión de corte de -48MPa aplicado en el tubo de 50x50x2 en el piso de la estructura, a nivel del corte del chasis, el esfuerzo es aplicado hacia arriba en la cara del elemento, en el eje y negativo hacia arriba.

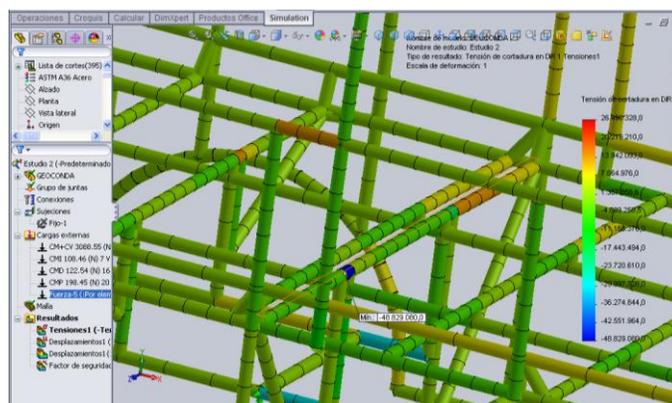


Fig. 4.22.- Esfuerzo de tensión de corte mínimo (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

c) Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta

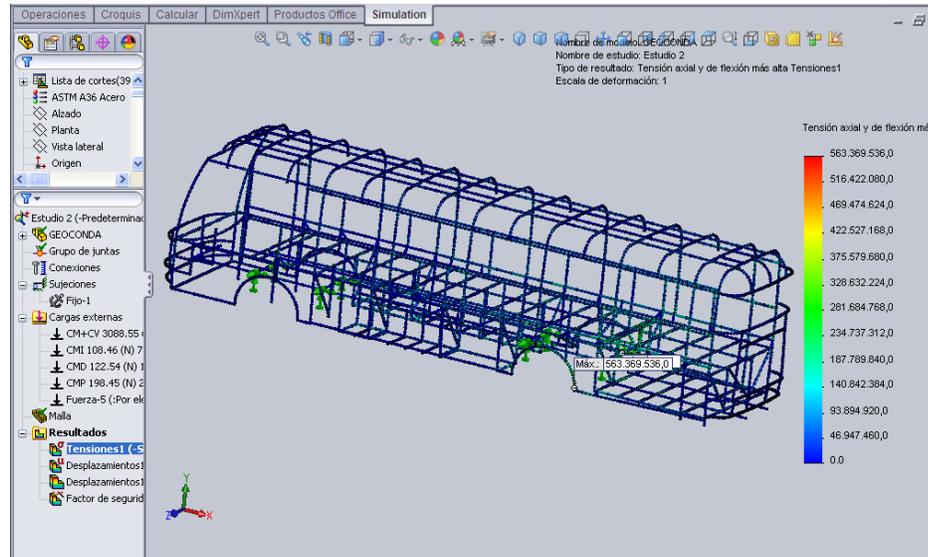


Fig. 4.23.- Esfuerzo de tensión axial y de flexión (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El valor obtenido es de 563 Mpa, en donde elemento más crítico es el arco de la rueda izquierda posterior específicamente el perfil tipo C.

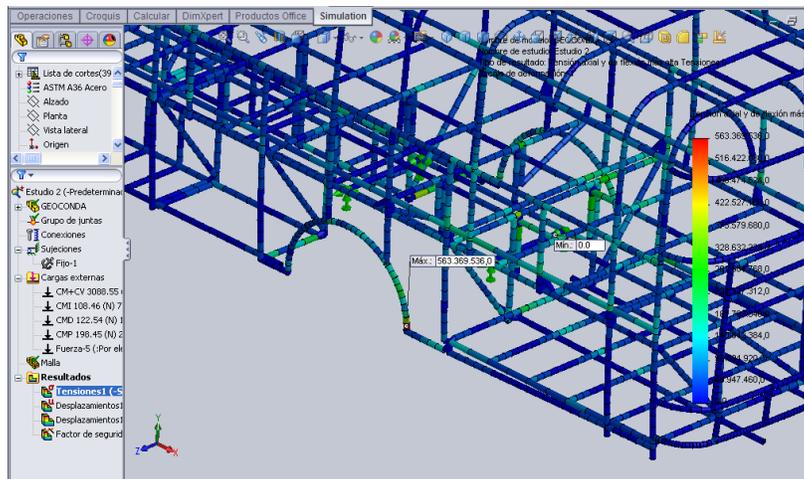


Fig. 4.24.- Esfuerzo de tensión axial y de flexión máximo (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El factor de seguridad calculado bajo la COMBINACIÓN DE CARGA 2 en el elemento más crítico es :

$$N = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$N = \frac{250MPa}{563MPa} = 0.44$$

**d) Factor de seguridad de la estructura**

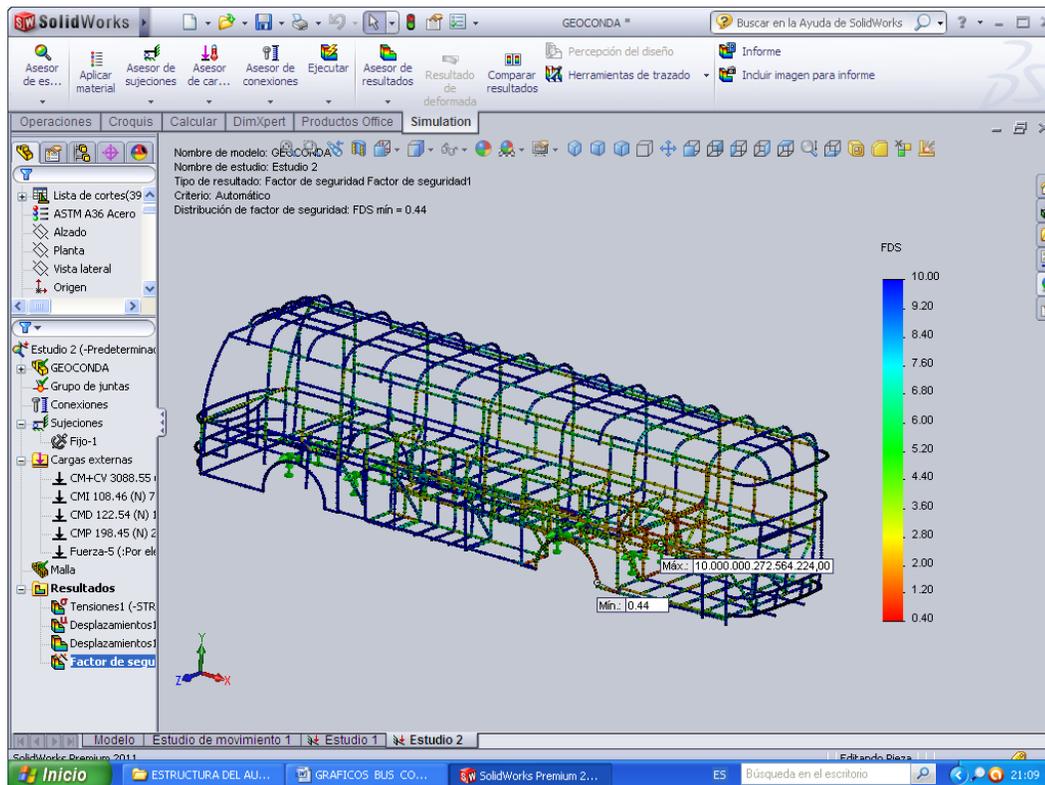


Fig. 4.25.- Factor de seguridad (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Factor de seguridad de SolidWorks:

N=0,44

## 4.5 REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBÚS

### 4.5.1. CONSIDERACIONES

Una vez analizados los resultados de las situaciones de las cargas que se aplicaron en el estudio se pudo concluir que la estructura no está dentro de los parámetros que exige la norma NTE 1323, por lo tanto se hace necesario el respectivo rediseño de la misma.

El estudio permite ver claramente que la parte con zonas más críticas en cuanto a los miembros estructurales es la parte posterior de la estructura por lo que se enfatizó mejorar este sector.

A continuación se enlistan las partes que fueron modificadas para que la estructura cumplan las exigencias que establece la norma:

- Refuerzos en el piso del maletero posterior perfil tipo C.
- Refuerzos del piso de los maleteros laterales izquierdo, derecho perfil tipo C.
- Aumento del espesor de los tubos del piso de la estructura de 2 a 2.6 (mm).
- Aumento de 1 tubo en el piso de la estructura.
- Aumento del espesor de los arcos de cerchas de la parte posterior de la estructura primero y segundo desde la parte de superior.
- Soporte para el miembro estructural del piso (75x75x3) del maletero posterior.
- Tubo de soporte en los arcos de ruedas.
- Reemplazo del perfil tipo C por un tubo cuadrado en los arcos de rueda.
- En la parte inferior de las ventanas a nivel del maletero posterior se incrementó 3 tubos de forma diagonal a cada lado para reforzar esta zona.

□ Refuerzo en la parte posterior del chasis tubo cuadrado de 75x75x3

De esta forma la estructura mejora sus características y cumple con los requisitos que exige la norma NTE 1323, mediante la aplicación de las situaciones de cargas se pudo verificar que ahora ningún elemento interrumpe el espacio de supervivencia de los ocupantes, o que los miembros estructurales alcancen una deformación elástica igual o mayor a 1/240 veces su longitud.

#### 4.5.2 RESULTADOS DE LA ESTRUCTURA DEL AUTOBÚS REDISEÑO

##### a) COMBINACIÓN DE CARGAS 1. (1.2 CM + 0.5CV + 0.5CF + 1.3CRaf)

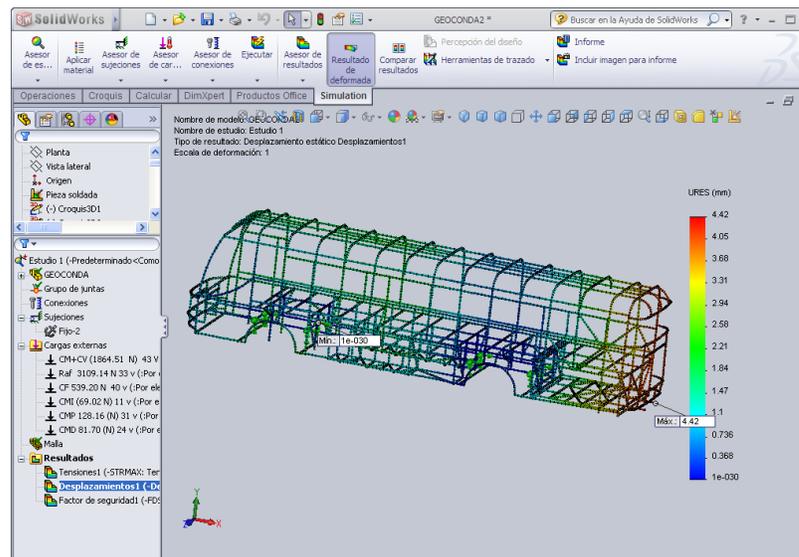


Fig. 4.26.- Deformación por la combinación de cargas (COMB.1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Mediante la aplicación del método LRFD (Load resistance factor design) se obtuvo los siguientes resultados: Desplazamiento máximo es de 4,42 mm producido en el piso del maletero posterior en el tubo cuadrado de 75x75x3, del lado derecho.

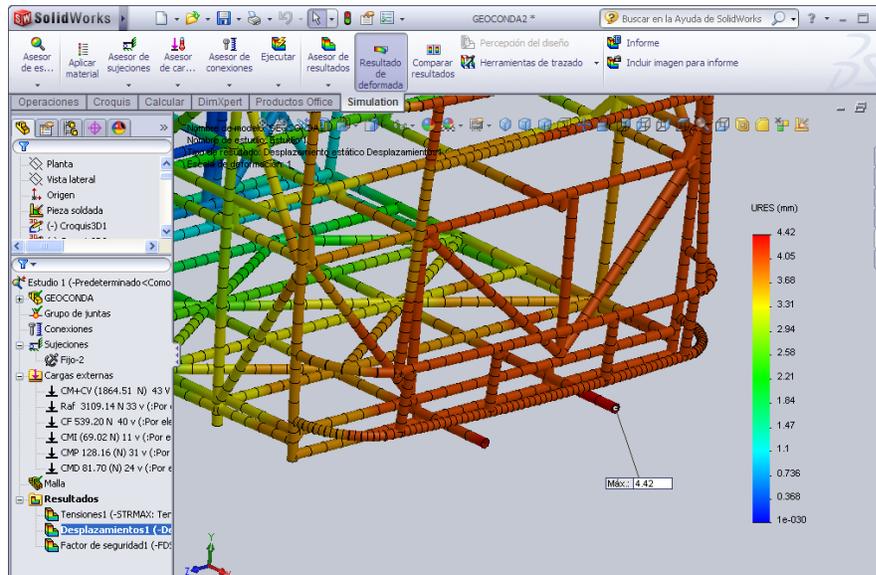


Fig. 4.27.- Desplazamiento máximo.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

**b) COMBINACIÓN DE CARGAS 2. (1.2CM + 1.6CV + 0.5CG)**

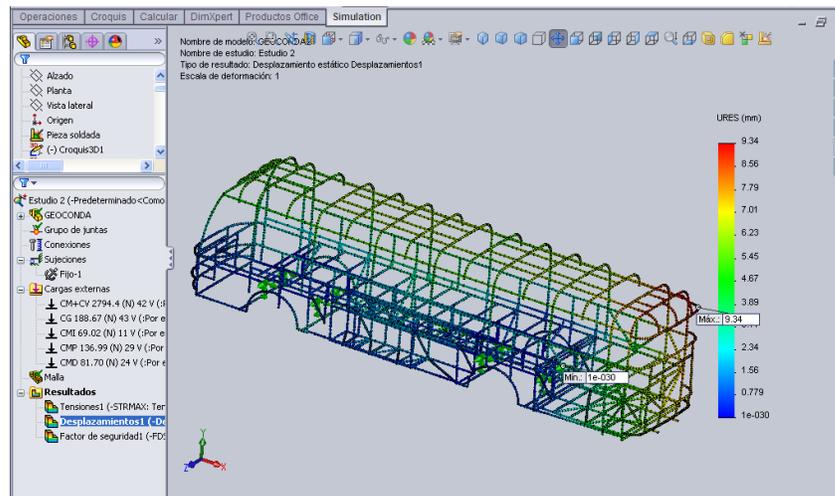


Fig. 4.28.- Deformación por la combinación de cargas (COMB.2).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Según el método LRFD (Load resistance factor design) se obtuvo los siguientes resultados:

Desplazamiento máximo es de 9.34 (mm) producido en la parte posterior de la estructura del autobús, ubicada en el arco de cercha superior.

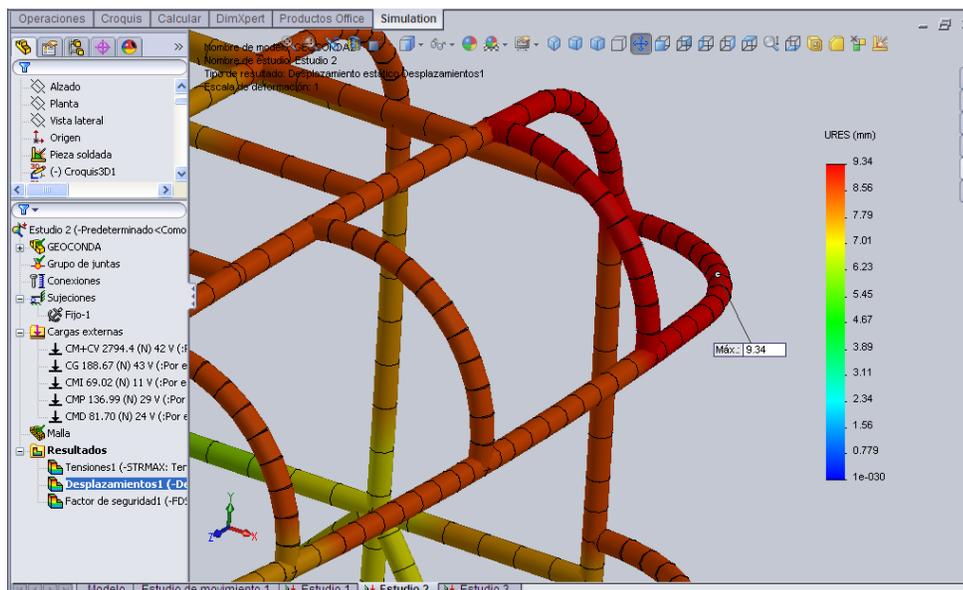


Fig. 4.29.- Desplazamiento máximo por (COMB 2).

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Se especifica en la NTE 1323, que las cargas combinadas, según los métodos (LRFD) y (ASD), deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores 1/240 veces su longitud.

Combinación 1.

### Cálculos realizados

- $L = 2934$  mm tubo cuadrado en el piso del maletero posterior
- Desplazamiento máximo del elemento  $(2934 / 240) = 12.22$  mm

### **Resultados SolidWorks**

- L = 2934 mm elemento piso del maletero posterior.
- Desplazamiento máximo del elemento = 4,42 mm

Combinación 2.

### **Cálculos realizados**

- L = 2771 mm parte posterior de la estructura arco de cercha superior.
- Desplazamiento máximo del elemento  $2771 / 240 = 11.54$  mm

### **Resultados SolidWorks**

- L = 2771 mm elemento arco de cercha superior guardachoque posterior.
- Desplazamiento máximo del elemento = 9.34 mm.

## ESFUERZOS

### Combinación de cargas 1 (1.2 CM+0.5 CV+0.5 CF+1.3CRAF)

#### a) Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta

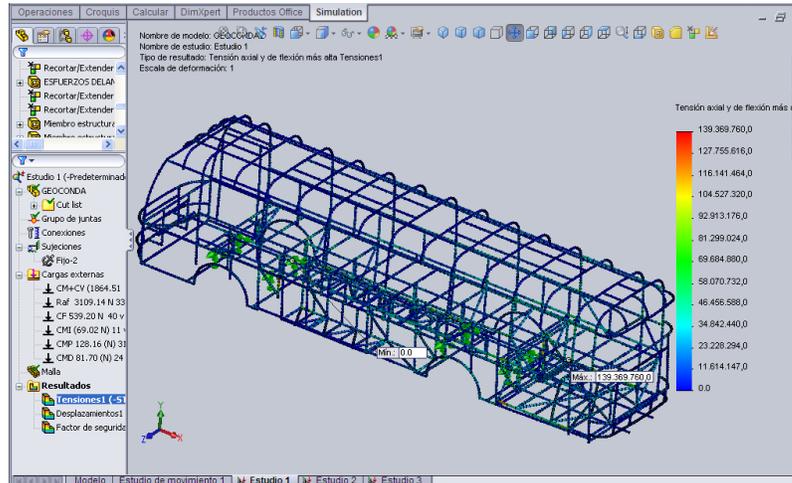


Fig. 4.30.- Esfuerzo de tensión axial y de flexión (COMB 1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El máximo valor obtenido es de 139 Mpa, para el elemento más crítico que corresponde al perfil tipo triangulo ubicado en el piso del maletero posterior del lado derecho.

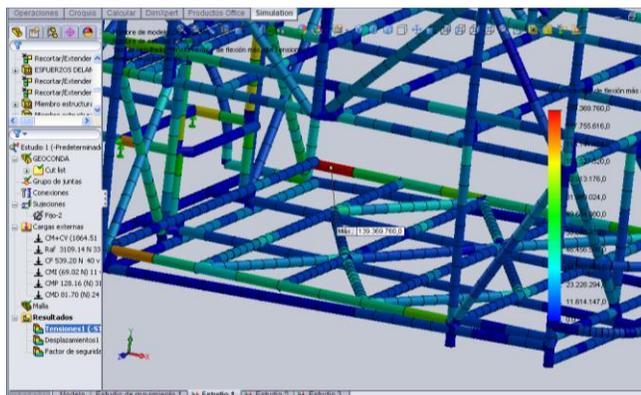


Fig. 4.31.- Esfuerzo de tensión axial y de flexión máximo (COMB 1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El factor de seguridad en la estructura del elemento con la condición más crítica:

$$N = \frac{Sy}{\sigma}$$

$$N=250/139=1.79$$

### b) Factor de seguridad de la estructura

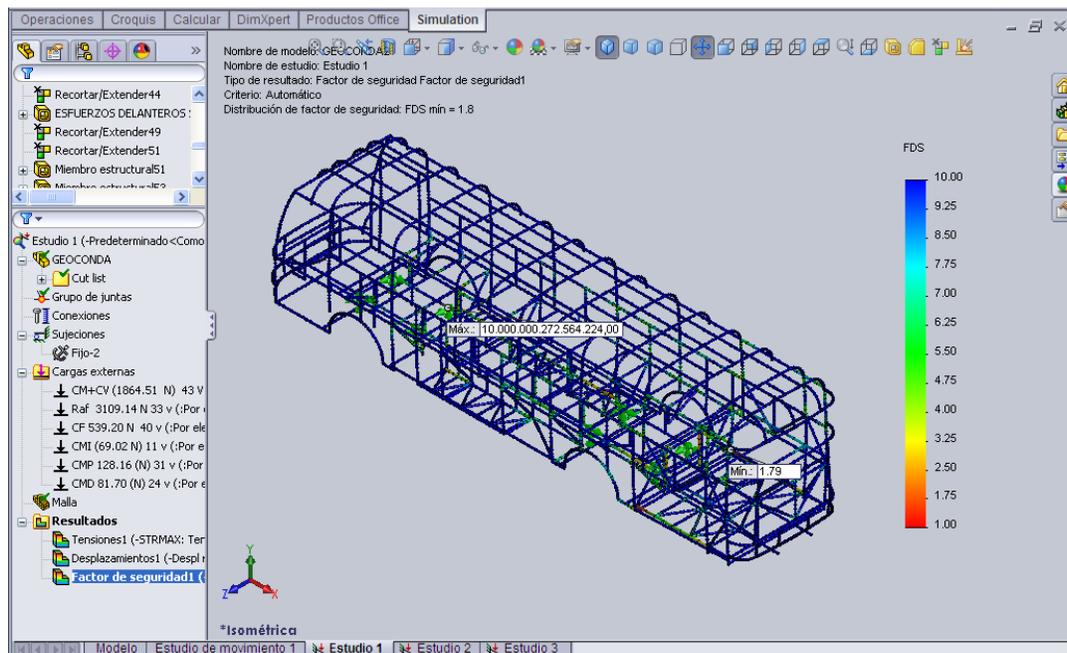


Fig. 4.32.- Factor de seguridad (COMB 1)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Una vez realizados las variantes en la estructura y aplicadas las cargas correspondientes se obtuvo un factor de seguridad de 1.8 garantizando de esta manera una estructura con una alto grado de confianza en cada uno de sus elementos.

## Combinación de cargas 2 (1.2 CM+1.6 CV+0.5 CG)

### a) Esfuerzo de tensión axial y de flexión más alta

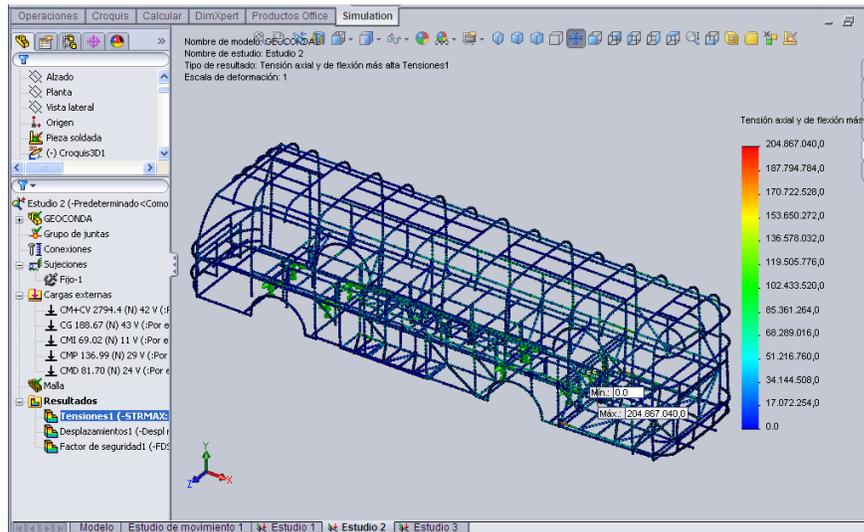


Fig. 4.33.- Esfuerzo de tensión axial y de flexión (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El máximo valor obtenido es de 204 Mpa, para el elemento más crítico que corresponde al larguero del lado derecho del chasis, en la cara superior.

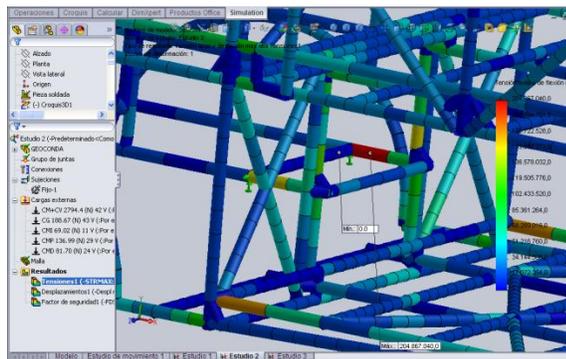


Fig. 4.34.- Esfuerzo de tensión axial y de flexión máximo (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

## b) Factor de seguridad en la estructura

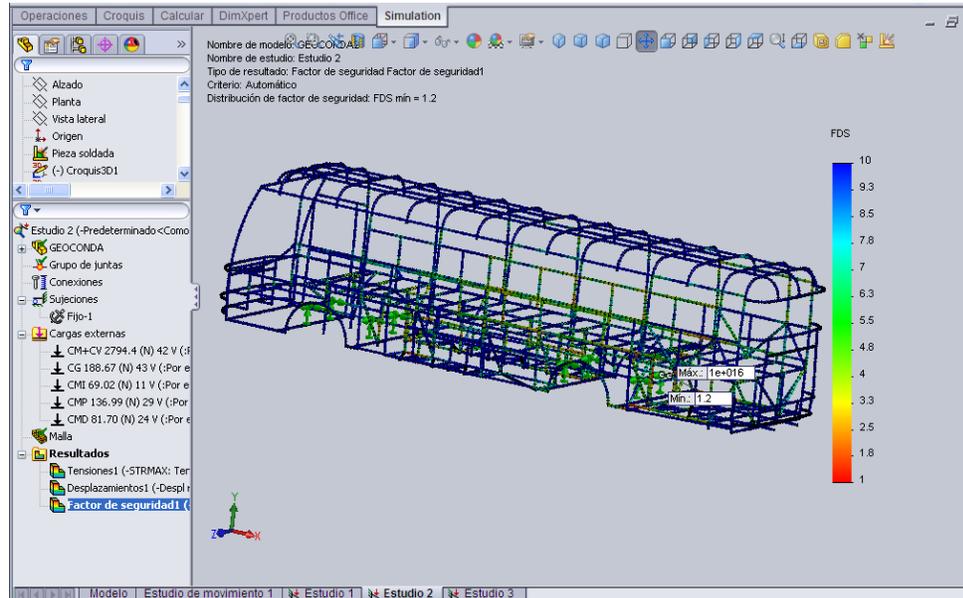


Fig. 4.35.- Factor de seguridad (COMB 2)

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

El factor de seguridad en el elemento con la condición más crítica:

$$N = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$N = 250/204 = 1.24$$

Aplicando la segunda combinación de cargas se obtuvo un resultado de 1.24 como factor de seguridad verificándose claramente que esta estructura a diferencia de la original con factor de seguridad de 0.44 brinda un nivel de confianza mayor y garantiza la seguridad de los ocupantes.

## CAPITULO 5

### PRUEBAS AERODINÁMICAS Y ENSAYO DE VUELCO

#### 5.1 AERODINÁMICA AUTOMOTRIZ

El análisis aerodinámico de un automóvil se puede descomponer en dos partes: por un lado, la determinación de la fuerza de arrastre y de sustentación y por otro, el análisis de las características y del comportamiento del flujo, ya sea sobre la superficie del cuerpo como en la estela cercana al mismo. Los efectos de la presión y la fricción viscosa producen las fuerzas de arrastre y sustentación.

Cuando un automóvil se encuentra en movimiento constantemente se ve sometido a diferentes fuerzas que resultan del desplazamiento del mismo a través de un gas (el aire). Para su estudio, la fuerza resultante se puede descomponer en Fuerzas Frontales (Resistencia al Avance también denominadas  $F_x$ ), Fuerzas Laterales ( $F_y$ ) y Fuerzas Verticales ( $F_z$ ) que a su vez pueden ser ascendentes o descendentes (mejor conocidas por su terminología en inglés con “lift” y “downforce” respectivamente). De estas fuerzas, las más importantes son las ( $F_x$ : fuerza de arrastre) y la ( $F_z$ : fuerza de sustentación).

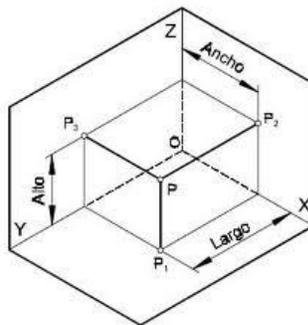


Fig. 5.1.- Triedo de referencia

Fuente: prepararlaselectividad.com

La resistencia al avance dependerá del Coeficiente de Resistencia ( $C_x$ ) producto del diseño del vehículo, el área frontal (Vista de frente del vehículo) y la velocidad que afecta esta resistencia de forma exponencial. Es decir, a mayor velocidad mucho mayor será la fuerza que se opone al avance. Gracias a esto, reducir la resistencia al avance nos permite aprovechar con mejor eficiencia cada caballo de fuerza producido por el motor, logrando mejores velocidades y menor consumo de combustible.

En las carreras, se sacrifica mucho la resistencia al avance por lograr fuerzas descendentes que presionen al vehículo contra el pavimento, esto se logra a través del diseño de la carrocería por medio de su respectivo coeficiente ( $C_z$ ), sin embargo, se puede alterar o modificar más fácilmente gracias a alerones (spoilers).

Un bajo valor del coeficiente de arrastre favorece una mayor economía de combustible y disminuye las emisiones de gases, lo que incide en el cuidado del medio ambiente.

Otros problemas de diseño se relacionan con el flujo alrededor y a través del vehículo, por ejemplo: la estabilidad direccional; la utilización eficiente del viento como medio de enfriamiento para la unidad motriz, los frenos, la caja de transmisión, la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado; la disminución del ruido, la eliminación de partículas de polvo o agua sobre las ópticas, parabrisas, ventanillas laterales e incluso en la superficie trasera.

El Downforce también es exponencial a la velocidad, lo cual es muy conveniente en carreras ya que aumenta la adhesión al pavimento a altas velocidades, sin embargo, la incorporación de alerones influye negativamente sobre la resistencia al avance (los vehículos de carrera compensan esta pérdida con caballos de fuerza adicionales).

El estudio de todos estos efectos se realiza en Túneles de Viento, denominados así por semejar las condiciones a las que el vehículo es sometido pero en forma estática.

Alterar las especificaciones originales del vehículo (aerodinámicamente hablando) puede causar:

- Alto consumo de combustible.
- Disminución de la velocidad ya que los alerones aumentan el área frontal del vehículo.
- Esfuerzo innecesario del motor.
- Disminuye la eficiencia del sistema de enfriamiento: del motor; transmisión automática, dirección hidráulica y alternador.
- Disminuye la capacidad de disipación de calor de discos y/o tambores de frenos.
- Produce esfuerzos innecesarios de la suspensión sobre los resortes.
- Desgaste de neumáticos ya que simula un efecto de sobrecarga a alta velocidad.
- Ruido de Viento.

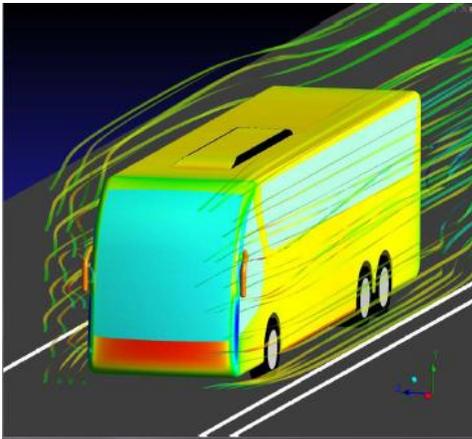


Fig. 5.2.- Líneas de corriente del autobús

Fuente: Empresa Análisis - DSC Dynamic & security computations

## 5.2 PROPIEDADES DEL AIRE

### 5.2.1 FLUIDO

Se denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Los fluidos se caracterizan por cambiar de forma sin que existan fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma original. En el cambio de forma de un fluido la posición que toman sus moléculas varía, ante una fuerza aplicada sobre ellos, pues justamente fluyen.

Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo a diferentes características que presentan en:

- **Newtonianos.-** Un fluido newtoniano es una sustancia homogénea que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o tensión, independientemente de la magnitud de ésta. En otras palabras, es una sustancia que debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene
- **No newtonianos.-** Un fluido no newtoniano es aquél cuya viscosidad varía con el gradiente de tensión que se le aplica, es decir, se deforma en la dirección de la fuerza aplicada. Como resultado, un fluido no-newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido newtoniano.
- **Líquidos.-** El líquido es un estado de agregación de la materia en forma de fluido altamente incompresible, lo que significa que su volumen es, muy aproximadamente, constante en un rango grande de presión.

## 5.2.2 DENSIDAD

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia. Se expresa como la masa (m) de un cuerpo dividida por el volumen (V) que ocupa:

$$\rho = m/V$$

y sus unidades son Kg/m<sup>3</sup> en el S.I.

Tabla 5.1 Densidad vs altitud

TABLA DE VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE CON LA ALTURA

Altitud (Mt)	DENSIDAD (Kg / Mt <sup>3</sup> )				
	0°C	5°C	10°C	15 °C	25 °C
0	1,28	1,25	1,23	1,21	1,17
500	1,21	1,19	1,17	1,15	1,11
1000	1,14	1,12	1,1	1,08	1,05
1500	1,07	1,06	1,04	1,02	0,98
2000	1,01	0,99	0,97	0,96	0,92
2500	0,94	0,92	0,91	0,89	0,86
3000	0,87	0,86	0,84	0,83	0,8
3500	0,81	0,79	0,78	0,76	0,74
4000	0,74	0,73	0,71	0,7	0,68
4500	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62
5000	0,61	0,6	0,58	0,57	0,56

Fuente: soloexactas.com.ar

## 5.2.3 VISCOSIDAD

Es la propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir; los fluidos de baja viscosidad fluyen con facilidad. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad.

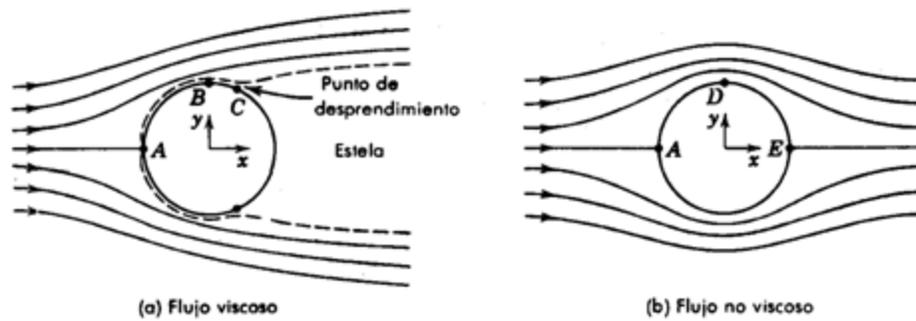


Fig. 5.3.- Viscosidad

Fuente: monografias.com

### a1) Viscosidad dinámica

Es una propiedad que tiene el fluido mediante la cual ofrece una resistencia al esfuerzo cortante, esta varía con la temperatura, aumenta con la temperatura en los gases y en los líquidos disminuye, pero en algunos casos es independiente de la presión. Mientras más denso, más viscoso.

$$u = \frac{t dy}{dv}$$

Siendo:

$dy$  = diferencial de profundidad

$dv$  = diferencial de velocidad

$t$  = esfuerzo cortante

$u$  = viscosidad dinámica del fluido  $N \cdot \text{seg}/m^2$

### **b1) Viscosidad cinemática**

Es el cociente entre la viscosidad dinámica de un fluido y su densidad. esta propiedad para los gases varían mucho con la presión y temperatura, mientras que para los líquidos varían sólo con la temperatura.

$$v_c = u / \rho$$

Siendo:

**u = viscosidad dinámica del fluido N.seg/m<sup>2</sup>**

$\rho$ : densidad Kg/m<sup>3</sup>

$v_c$ : Viscosidad cinemática m<sup>2</sup>/seg

### **5.2.4 FLUJO LAMINAR**

Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente.

### **5.2.5 FLUJO TURBULENTO**

Se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos.

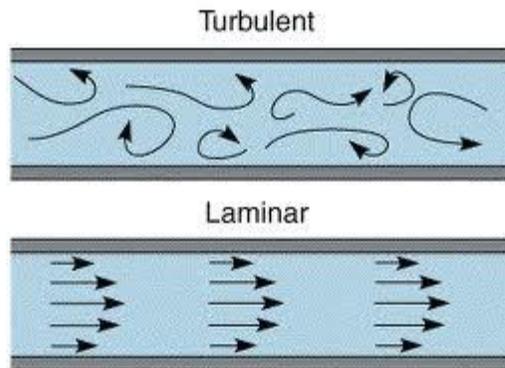


Fig. 5.4.- Flujo laminar y turbulento

Fuente: proyecto-de-física.blogspot.com

### 5.2.6 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión atmosférica es el peso de una columna de aire en un punto dado de la superficie del planeta. Este peso ejerce una presión sobre este punto de la superficie, si el peso de la columna disminuye, también lo hace la presión, y viceversa. Si aumenta el número de moléculas del aire en una superficie, habrá más moléculas para ejercer fuerza sobre esa superficie, con el consecuente aumento de la presión.

### 5.2.7 EFECTO VENTURI

Las partículas de un fluido que pasan a través de un estrechamiento aumentan su velocidad, con lo cual disminuye su presión.

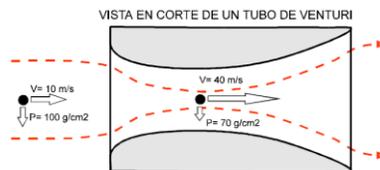


Fig. 5.5.- Efecto venturi.

Fuente: Manual de Vuelo, Juan Zitnik.

### 5.2.8 ESTELA

Es una región de (difusión) creciente que está detrás del cuerpo como se indica. Los límites de la estela, la región separada y la capa límite turbulenta depende mucho del tiempo, en la posición promedio temporalmente de la estela se indica con líneas interrumpidas.

La estela, que se visualiza detrás del modelo, constituye una de las principales fuentes del coeficiente de arrastre  $C_x$ . Su formación se produce principalmente por las separaciones en el extremo trasero e implícitamente por las inestabilidades de la zona frontal. En la zona de la superficie base, la estela produce una región de baja presión generando intensos vórtices longitudinales y flujo transversal, que extraen energía cinética al flujo incidente y producen el fenómeno de las separaciones. Con el objeto de mejorar el comportamiento aerodinámico del cuerpo se disminuye el valor del coeficiente de arrastre, siendo necesario conocer la estructura cualitativa de la estela.

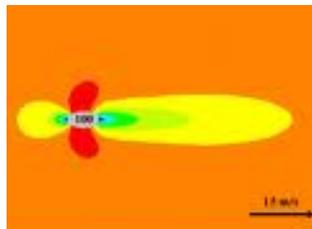


Fig. 5.6.- Estela

Fuente: francisthemulenews.wordpress.com

### 5.2.9 NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión a dimensional, que interviene en numerosos

problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación a dimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande). Desde un punto de vista matemático el número de Reynolds de un problema o situación concreta se define por medio de la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

o equivalentemente por:

$$Re = \frac{v_s D}{\nu_c}$$

Donde:

$\rho$  = densidad del fluido

$v_s$  = velocidad característica del fluido

$D$  = diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

$\mu$  = viscosidad dinámica del fluido

$\nu_c$  = viscosidad cinemática del fluido

$$\nu_c = \frac{\mu}{\rho}$$

Si  $Re < 2000$ , el flujo es laminar

Si  $Re > 4000$ , el flujo es turbulento

### 5.3 RESISTENCIA AERODINÁMICA

El movimiento de un vehículo en el aire se ve afectado por la fuerza aerodinámica, la cual se puede dividir en dos fuerzas:

- Fuerza de sustentación, es vertical hacia arriba.
- Fuerza de arrastre, es horizontal y se opone al movimiento del vehículo.

#### 5.3.1 FUERZA DE SUSTENTACIÓN

La sustentación es la fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad del corriente incidente.

La aplicación más conocida es la del ala, de un ave o un avión, superficie generada por un perfil alar.

EN AUTOMOVILISMO: Para la sustentación se utiliza la notación  $F_z$ , y  $C_z$  para el coeficiente de sustentación, ya que esta fuerza actúa paralelamente al eje OZ del triedro de referencia que se asocia al vehículo, en muchos tipos de vehículos de competición, como pueden ser los de la Fórmula 1, buscan que el coeficiente de sustentación sea negativo; es decir, que el vehículo sea empujado hacia el suelo, con el objetivo de obtener un mejor agarre o apoyo aerodinámico, mediante superficies como alerones o el aprovechamiento del fondo plano.

La fórmula es:

$$F_z = C_z \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_f$$

Donde:

$F_z$  = fuerza de sustentación (N)

$C_z$  = Coeficiente de sustentación

$\rho$  = densidad del fluido(Kg/m<sup>3</sup>)

$v_f$  = velocidad del fluido (m/seg)

$A_f$  = superficie frontal del cuerpo perpendicular al movimiento del fluido (m<sup>2</sup>)

Hay varios métodos que se utilizan para reducir la sustentación o para crear fuerza hacia abajo. Estos métodos incluyen interceptores aerodinámicos (spoilers) y efectos de tierra. El tipo de dispositivo utilizado depende de la clase de competencia y de las restricciones (reglas) que hayan sido impuestas.

### 5.3.2 FUERZA DE ARRASTRE

El arrastre es la mayor y más importante fuerza aerodinámica encontrada en autos de pasajeros a velocidades normales de autopista. El arrastre total en los vehículos se deriva de varias fuentes. Existe un gran potencial de reducción de arrastre en esas áreas. Para un vehículo normal, aproximadamente un 65% del arrastre proviene de la carrocería.

**Parte trasera:** La mayor contribución de arrastre proviene de la parte trasera debido a la zona de separación. Aquí es donde existe el mayor potencial de reducción.

**Parte delantera:** El arrastre delantero es influenciado por el diseño del frontal y del ángulo del parabrisas. La localización de la altura de la punta frontal del vehículo establece el punto de estancamiento y la separación del flujo hacia arriba y abajo del

auto. El menor arrastre se obtiene con una altura baja de éste punto y con una forma bien redondeada.

**Parabrisas:** Ángulos bajos reducen el arrastre pero complican el diseño del vehículo pues inducen un mayor calentamiento del interior e incrementan la distorsión óptica.

Parte inferior: Las suspensiones y otros elementos protuberantes en la parte inferior de la carrocería son responsables de arrastre.

**Protuberancias:** Una segunda área de reducción de arrastre son las protuberancias de la carrocería. Por ejemplo, las ruedas producen un flujo turbulento recirculante en las cavidades, aumentando el arrastre.

**Flujo interno:** El sistema de refrigeración, con el aire pasando a través del radiador, impactando el motor y frente de la cabina produce presión dinámica que actúa como arrastre en esa zona.

Un diseño cuidadoso puede dirigir el flujo de tal forma que mantenga su velocidad.

La fórmula es:

$$F_x = C_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_f^2 \cdot A_f$$

Donde:

$F_x$  = resistencia aerodinámica (N)

$C_x$  = coeficiente aerodinámico

$\rho$ : densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

$v_f$  = velocidad del fluido (m/seg)

$A_f$  = superficie frontal del cuerpo perpendicular al movimiento del fluido (m<sup>2</sup>)

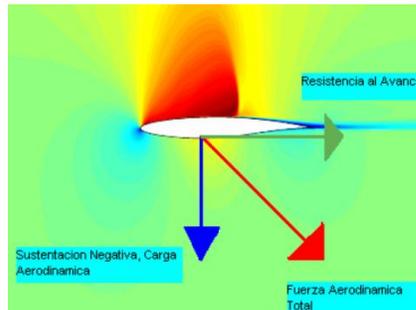


Fig. 5.7.- Fuerza aerodinámica

Fuente: Análisis y optimización de la aerodinámica de la carrocería de un autobús

## 5.4 POTENCIA

En el motor la definiremos como la que es capaz de proporcionar un número determinado de revoluciones por minuto. La potencia desarrollada por un motor depende de sus características constructivas, así como de una serie de factores que inciden en el proceso de transformación de la energía.

- Relación de compresión y grado de calidad del ciclo
- Grado de llenado de los cilindros
- Cilindrada
- Numero de cilindros
- Numero de revoluciones

La potencia necesaria para mover el vehículo debe ser mayor a la fuerza que se opone, multiplicado por la velocidad a la que circula dicho vehículo.

$$Pot = Ft \cdot v$$

Donde:

$Ft$  = Es la suma de las fuerzas de rodamiento ( $F_r$ ), más la del aire ( $F_a$ ) (N).

$v$  = Velocidad del vehículo m/seg.

$$Pot = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot Af \cdot \rho \cdot v_f^3$$

De otro modo:

Donde:

$Pot$  = potencia necesaria para vencer la resistencia del aire (W).

$C_x$  = coeficiente de arrastre.

$Af$  = área frontal del cuerpo perpendicular al movimiento del fluido ( $m^2$ ).

$\rho$  = densidad del fluido ( $kg/m^3$ ).

$v_f$  = velocidad del fluido (m/seg).

## 5.5 EFECTO SUELO

Se denomina efecto suelo al fenómeno aerodinámico que sucede cuando un cuerpo, con una diferencia de presiones entre la zona que hay por encima de él y la que hay por debajo, está muy cerca de la superficie terrestre, lo que provoca unas alteraciones en el flujo de aire que pueden aprovecharse en diversos campos.

En el automovilismo se busca al contrario que en aeronáutica, crear una zona de alta presión por encima del vehículo y una de baja presión por debajo. La diferencia de presiones provoca una succión que aplasta al vehículo contra el suelo, mejorando el agarre, lo que se traduce en la posibilidad de trazar curvas a mayor velocidad.



Fig. 5.8.- Efecto suelo F1

Fuente : [que-formula1.com](http://que-formula1.com)

## 5.6 MODELADO DEL AUTOBÚS MEDIANTE SOLIDWORKS

En el modelado del autobús se utilizarán los diferentes iconos que nos ofrece el programa estos son: Extruir base/ saliente, Extruir corte, matriz circular, redondeo, matriz lineal etc.

La información que nos permite obtener el software es:

- Poder evaluar la eficiencia aerodinámica de una determinada configuración con un margen de error bajo.
- Conseguirá mejorar la eficiencia de sus diseños.
- Calcular los coeficientes aerodinámicos de arrastre y sustentación.
- Analizar las fuerzas aerodinámicas totales sobre la carrocería.
- Estudiar el efecto de partes móviles (ruedas).
- Considerar las resistencias inducidas por partes pequeñas ( antenas, retrovisores,) permitiendo optimizar su efecto.
- Analizar el posible efecto suelo.



Fig. 5.9. - Autobús Silver Glass

Fuente Propia: Carrocerías Patricio Cepeda

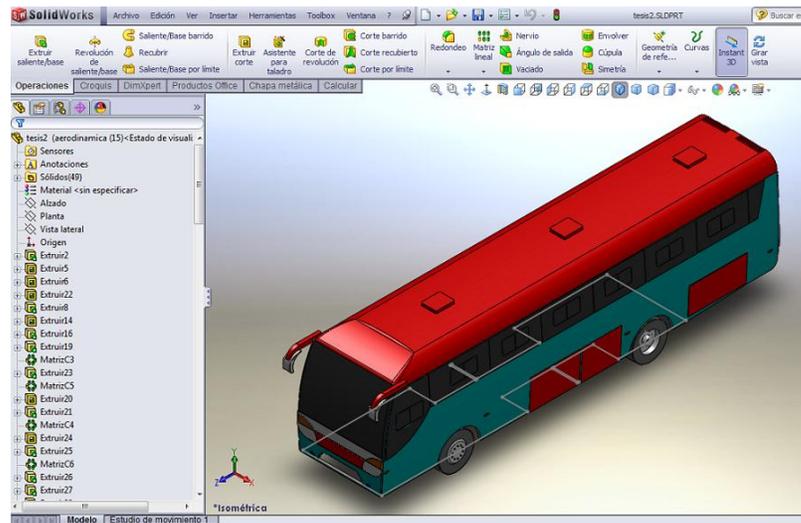


Fig. 5.10. - Modelado del autobús

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

### 5.6.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

En el presente estudio se han considerado tres parámetros bajo los cuales va a calcular el programa la efectividad de la carrocería ya modelada:

- Coeficiente de sustentación  $C_z$
- Coeficiente de arrastre  $C_x$
- Potencia para vencer la resistencia del aire Pot.

Para todos estos cálculos hay que tomar en cuenta los siguientes datos del aire a nivel del mar.

- Temperatura ambiental del aire en la costa = 15 °C
- Presión atmosférica = 101325 Pa
- Densidad del aire = 1.225kg/m<sup>3</sup>
- Viscosidad cinemática = 1.46x10<sup>-5</sup>m<sup>2</sup>/seg
- Viscosidad dinámica = 1.789x10<sup>-5</sup>Pa.seg

- Velocidad promedio del vehículo = 100 km/h
- Área transversal del vehículo perpendicular al movimiento del aire = 7.27m<sup>2</sup>

Especificamos las condiciones iniciales del dominio computacional siendo estos límites los siguientes:

- Xmin = 6 m
- X max = 6 m
- Ymin = -0.515 m
- Ymax = 10 m
- Zmin = -18 m
- Zmax = 18 m

Además se insertó los parámetros globales en nuestro caso por el modelado ya mencionado los escritos a continuación:

- Fuerza de arrastre (componente de la fuerza Z )
- Fuerza de sustentación (componente de la fuerza Y )

Se tomó el nivel de resolución de resultados #7 siendo este el nivel óptimo para dicho proyecto.

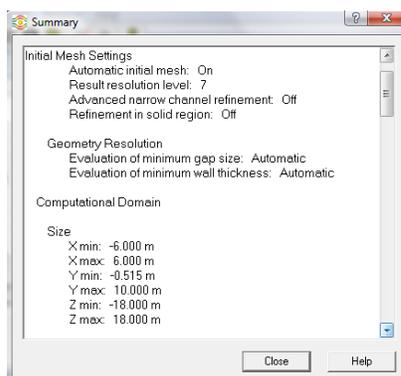


Fig. 5.11.- Resumen de condiciones

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

## 5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las figuras a continuación muestran los resultados en forma de Cutplots (contornos, isolineas) además de un valor numérico diferenciados por tipos de colores de las condiciones de presión dinámica, presión total, turbulencias del comportamiento del fluido en el autobús analizados en un túnel de viento.

La presión dinámica es producida por la velocidad relativa, por interferencia una línea de corriente del flujo debe ir derecho al cuerpo y estancarse (generalmente en el parachoques del carro), con lo cual la velocidad relativa se va a cero y la presión dinámica observada en ese punto debe ser cero. La cual se muestra en el plano de visualización de la siguiente figura.

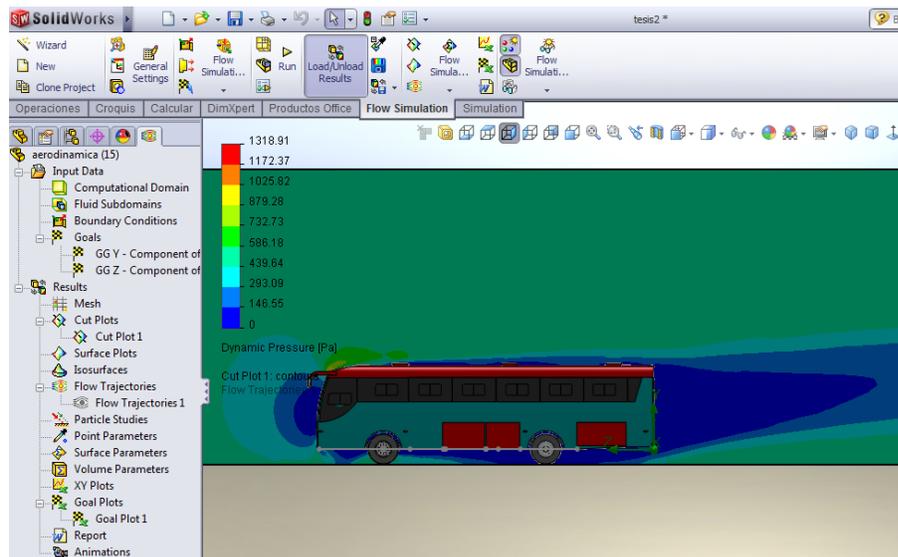


Fig.5.12.- Gráfico de la presión dinámica vista lateral

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation.

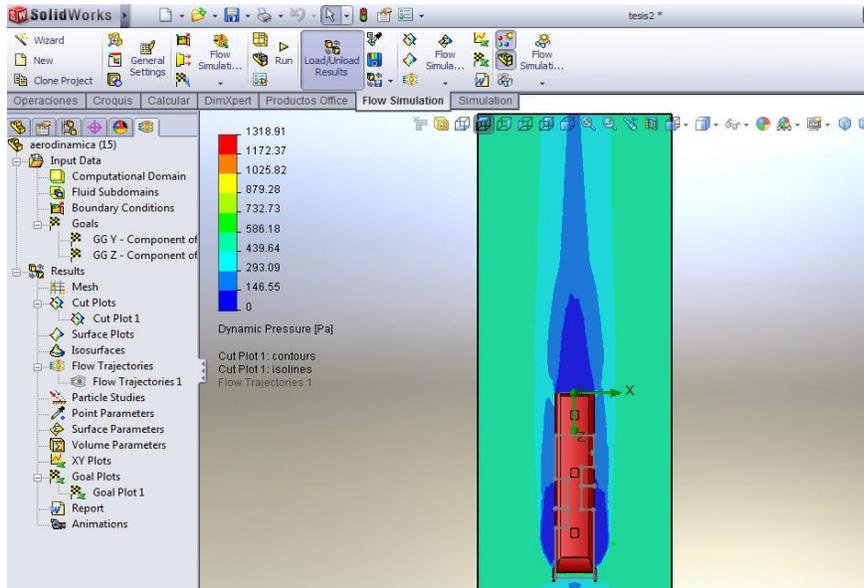


Fig5.13.- Gráfico de la presión dinámica vista superior

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

Las turbulencias se deben a los gradientes de presión y velocidad que hay en torno a una superficie, debido a estas condiciones el movimiento de las partículas es aleatorio, caótico y se forman remolinos en la parte posterior del autobús.

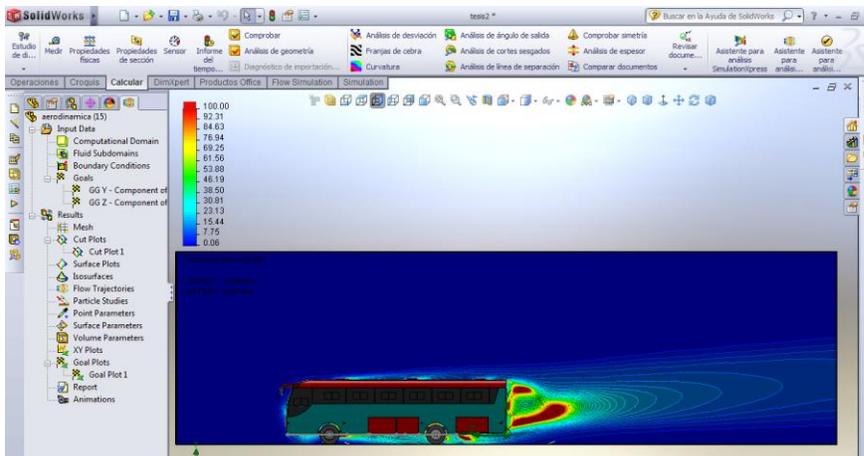


Fig. 5.14.- Gráfico de intensidad de turbulencia vista lateral

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks

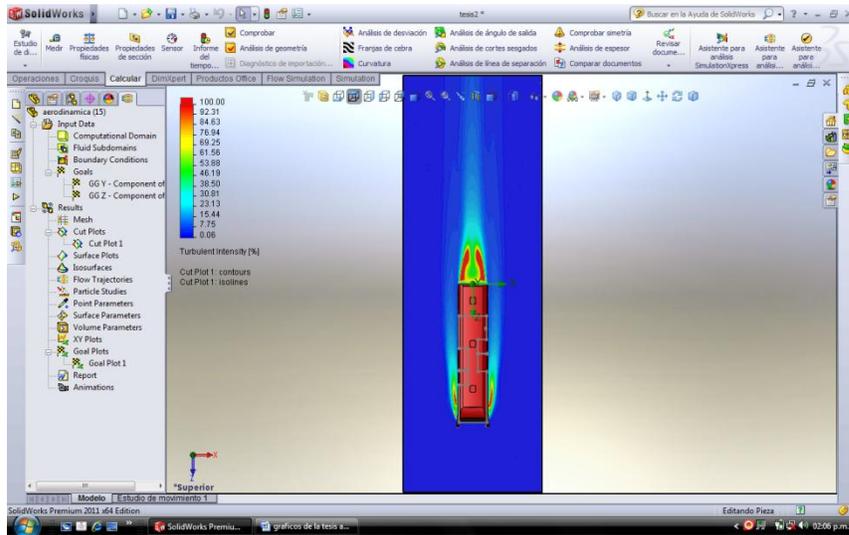


Fig.5.15.- Gráfico de intensidad de turbulencia vista superior

Fuente Propia: Paquete Computacional SoldiWorks 2011

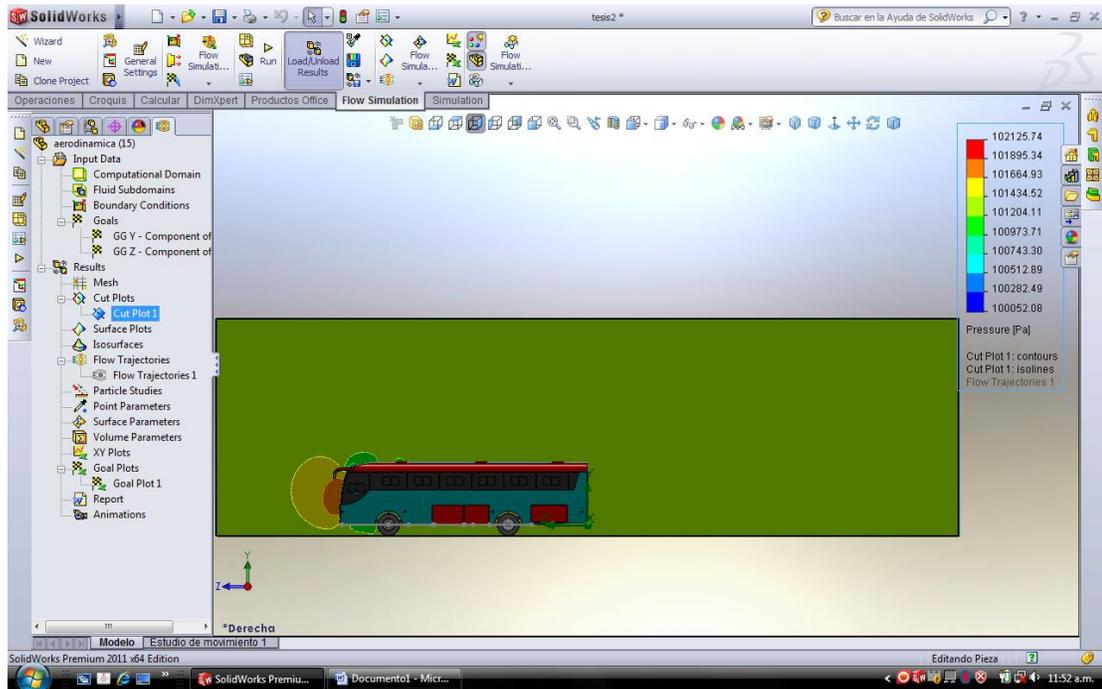


Fig.5.16.- Gráfico presión vista lateral.

Fuente Propia: Paquete Computacional SoldiWorks 2011.

En la gráfica se puede observar que existen más contornos donde se genera distintos valores de presión, debido a que la cara delantera del bus no tiene una forma aerodinámica. Por lo cual la fuerza de arrastre es mayor y se necesita más caballos de fuerza.

### 5.7.1 MOVIMIENTO DEL FLUIDO

En las figuras a continuación se puede apreciar la forma en que circula el aire alrededor del autobús,

Al aproximarse el flujo al autobús las líneas de corriente se parten, algunas van a la parte de arriba y a la parte abajo del vehículo. Para que las líneas de corriente se doblen hacia arriba la presión estática en esta región debe ser mayor que la ambiental para así proveer la fuerza necesaria para doblar el fluido.

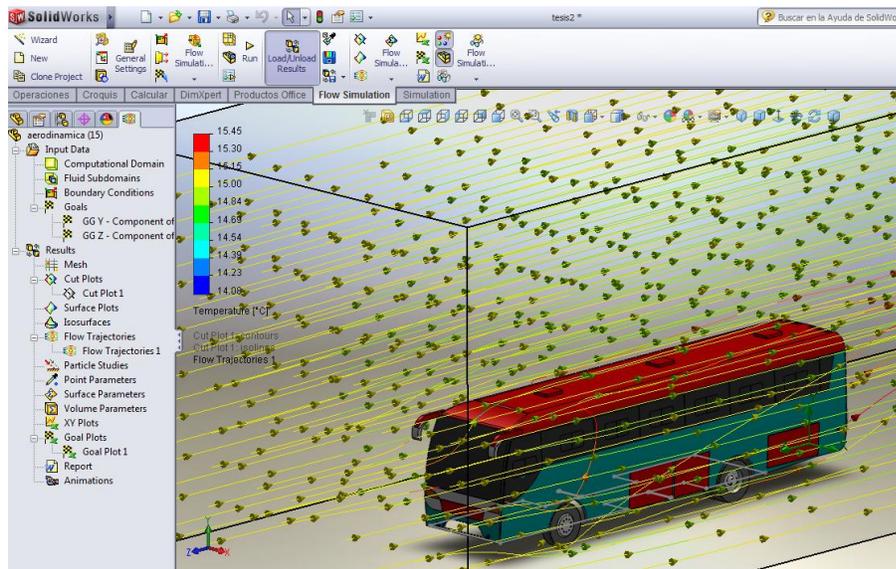


Fig. 5.17.- Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

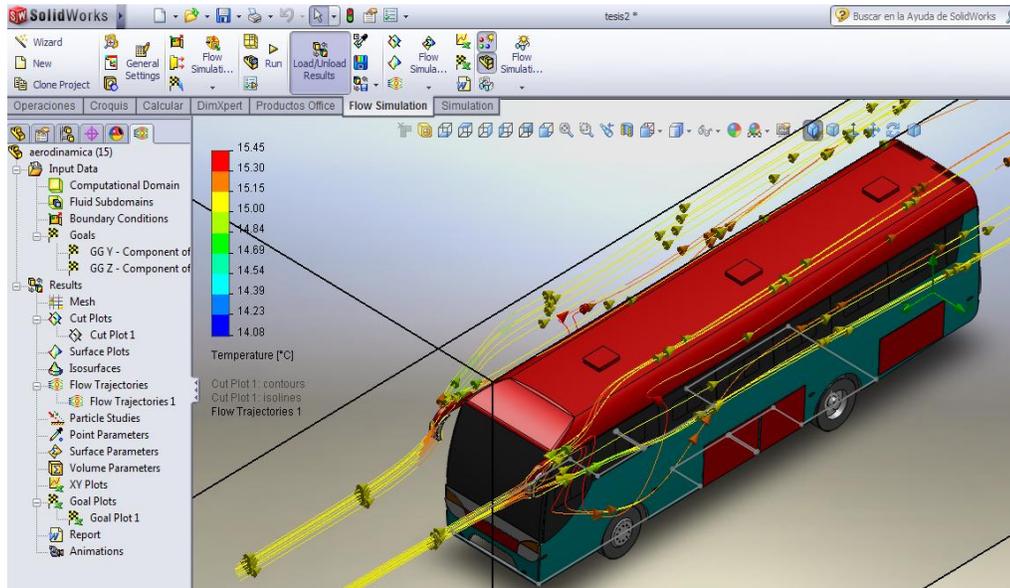


Fig. 5.18.- Movimiento del flujo en forma de líneas y flechas retrovisores

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

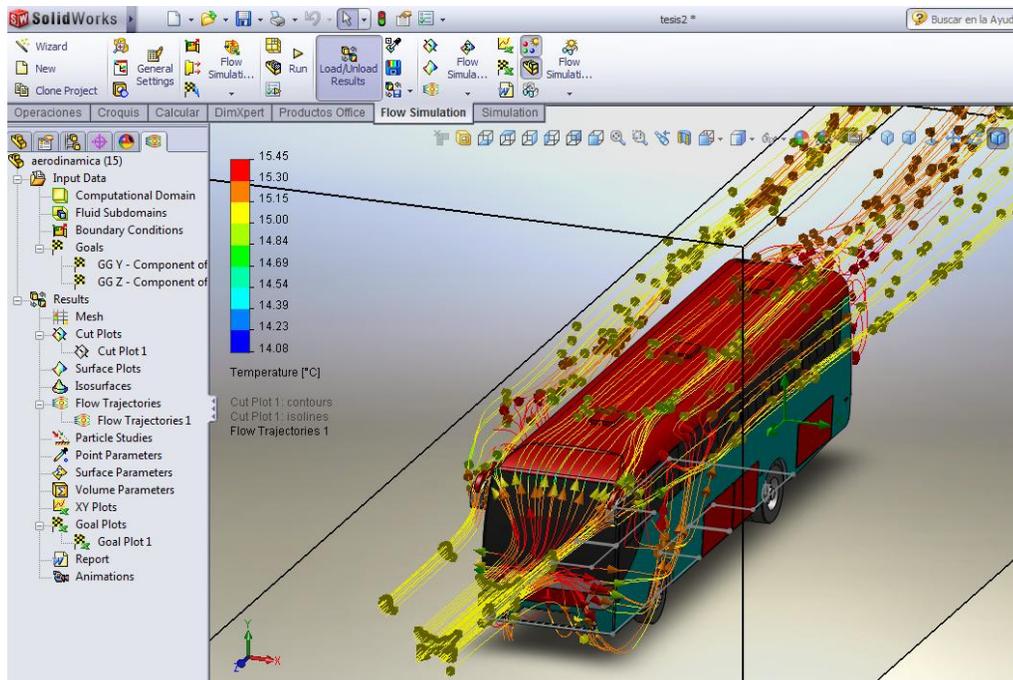


Fig. 5.19.- Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas parte frontal

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

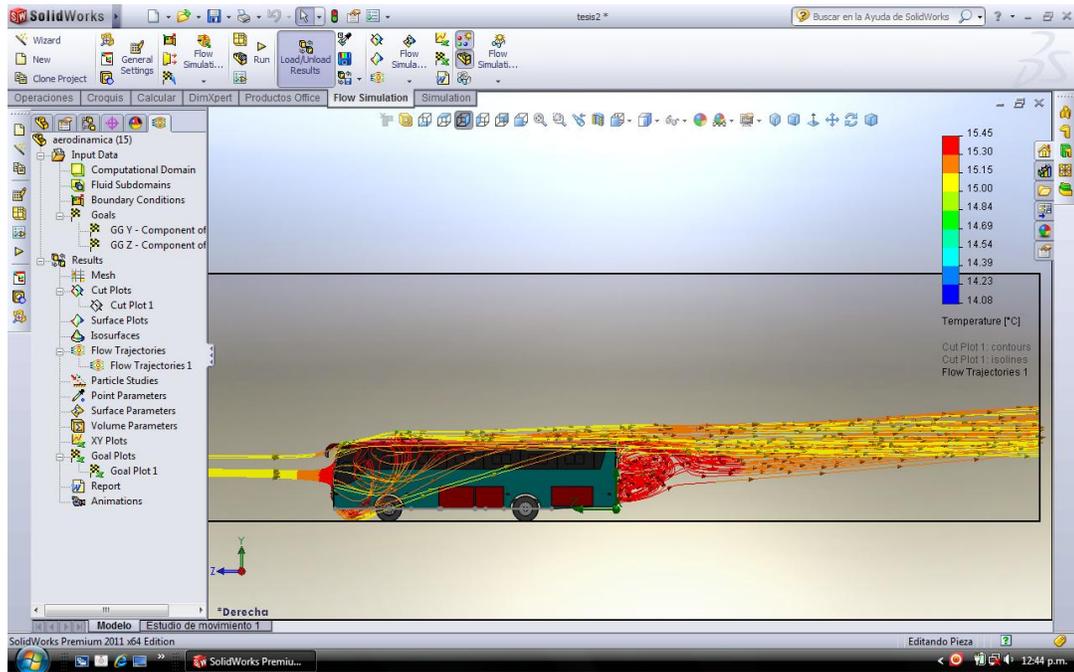


Fig. 5.20.- Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas vista lateral.

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation.

Se puede apreciar de manera clara que en la parte posterior del autobús se tiene un flujo turbulento y caótico ya que las líneas de flujo no siguen la trayectoria de la forma autobús motivo por el cual se tiende a frenar.

## 5.7.2 DATOS MODELO ORIGINAL

A continuación se muestra, en la tabla los valores calculados, estos valores son los finales y los que nos son de utilidad para poder establecer un criterio de la forma en que se está construyendo la carrocería.

Tabla 5.2 Valores finales del cálculo modelo original

Variable	Unidad	Valor
Fuerza de arrastre	[N]	2821,98
Fuerza de sustentación	[N]	1628,13
Coefficiente de arrastre	-----	0.82
Coefficiente de sustentación	-----	0.47
Potencia	[Hp]	104.071

Fuente: Propia Paquete computacional SolidWorks 2011

## 5.7.3 ANÁLISIS DE LA POTENCIA

Obtuvimos un valor de 104.071[Hp] esta potencia es la que necesita el motor para poder mover al autobús a través del fluido.

## 5.7.4 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE

Nos dio un valor del coeficiente de arrastre de  $C_x = 0,82$  este valor no se encuentra dentro del valor mínimo establecido en la NTE 1323. Con este valor de Coeficiente de Arrastre se necesita de una gran cantidad de energía para contrarrestar el arrastre

que se produce, lo cual se traduce en mayor potencia en el motor y mayor consumo de combustible.

Hay que tener en consideración que el coeficiente de arrastre es inversamente proporcional al Área Transversal, mientras esta sea mayor dicho coeficiente va a disminuir y viceversa.

### **5.7.5 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN**

Se obtuvo un valor de coeficiente de sustentación de  $C_z = 0.47$  este coeficiente hace que el autobús se encuentre presionado contra el pavimento, mientras menor sea el valor este es beneficioso la cual hace que el autobús sea más estable y se mantenga más pegado al piso.

## 5.8 PROTOTIPO MEJORADO

Luego de haber analizado los parámetros del modelo original del autobús, procedemos a realizar variantes en la carrocería para tener un diseño aerodinámico eficiente especialmente en el coeficiente de arrastre y así cumplir con el parámetro establecido en la NTE INEN- 1323 (como mínimo  $C_x = 0.7$ ), las principales variantes realizadas son:

- Construcción de una cúpula en la parte delantera.
- Se modificó la parte delantera del autobús siendo esta necesaria para reducir la carga de resistencia al aire frontal.
- Se incrementó la altura del autobús original de 2.98 a 3.85 (m).

Con todas estas modificaciones se incrementó el área total de 7.27m<sup>2</sup> a 8.37m<sup>2</sup> obteniendo los siguientes resultados.

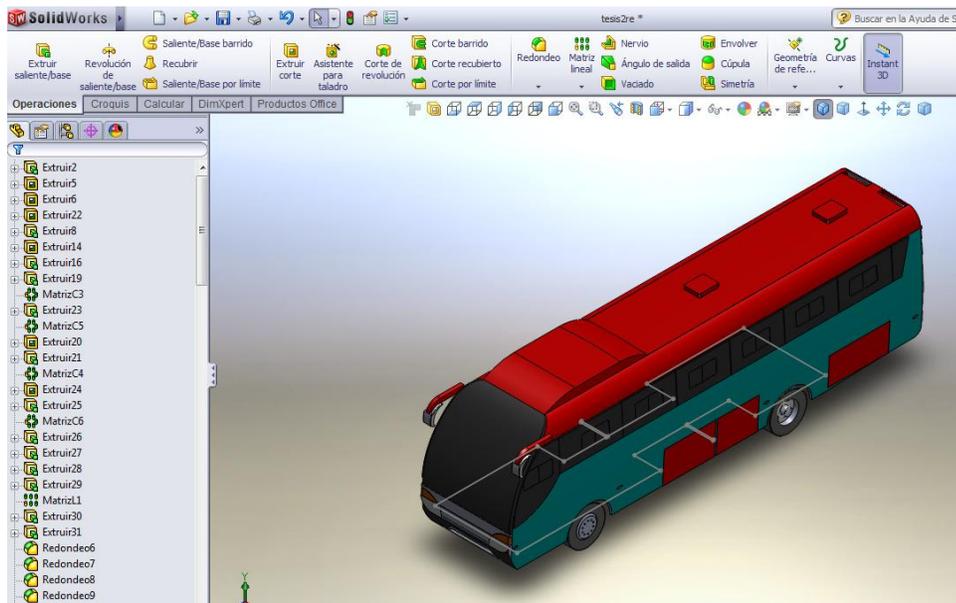


Fig. 5.21.- Prototipo mejorado

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

## 5.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran los nuevos resultados del autobús con las variaciones ya mencionadas anteriormente.

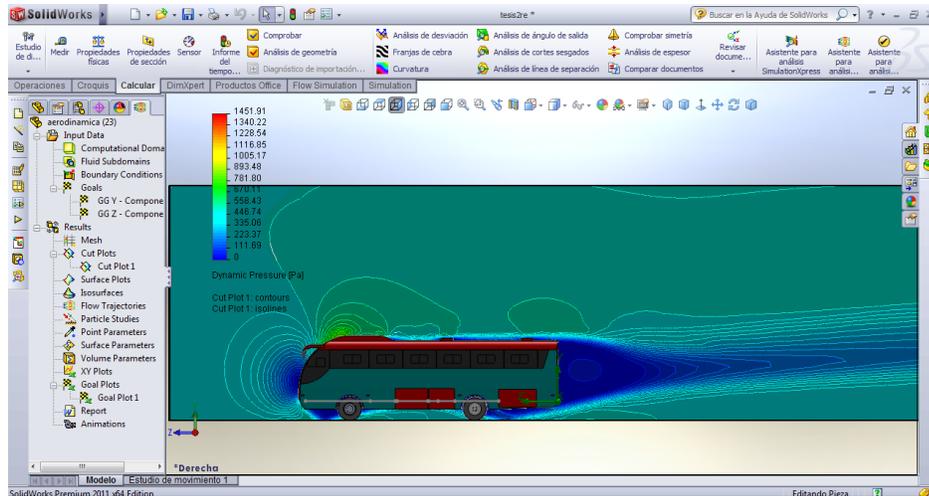


Fig. 5.22 Gráfico de la presión dinámica vista lateral

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

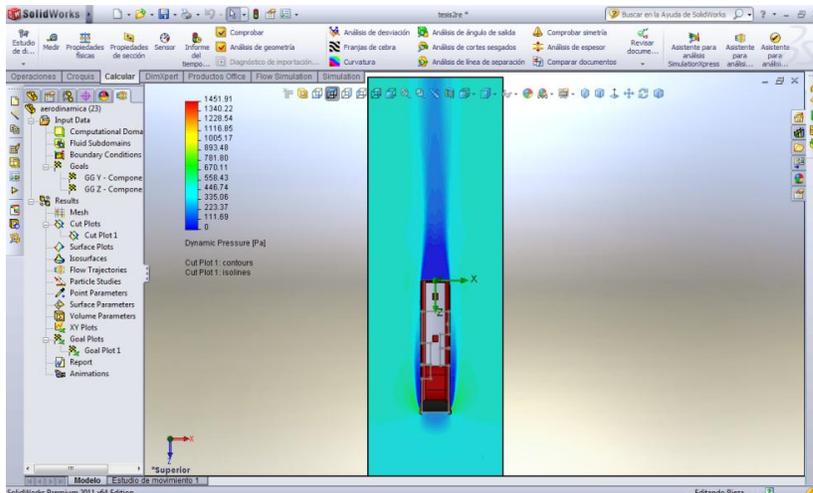


Fig. 5.23 Gráfico de la presión dinámica vista superior

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

Debido a las modificaciones realizadas se pudo variar las turbulencias generadas por el aire en el autobús, reduciendo los remolinos y teniendo en cuenta que el movimiento del fluido tiene una condición más adecuada de circulación tomando una forma de flujo laminar.

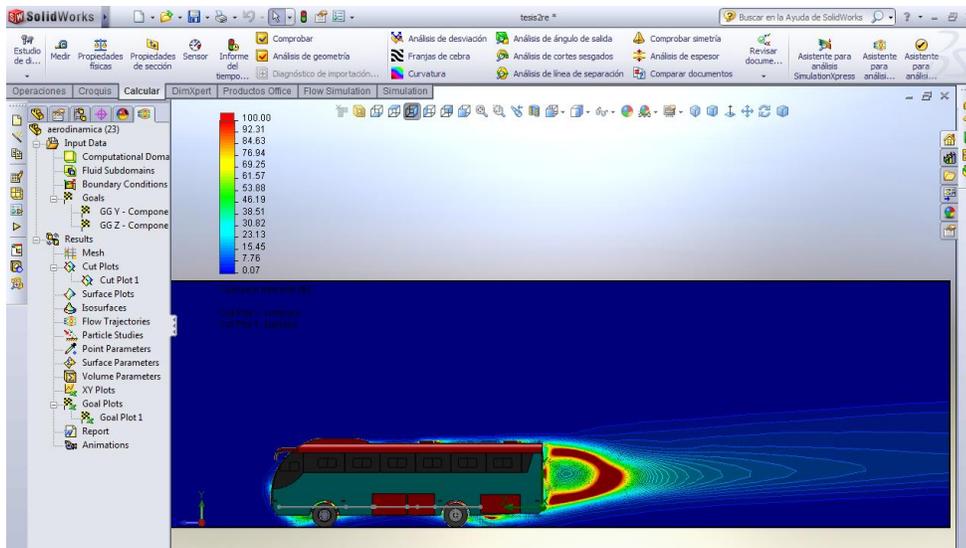


Fig. 5.24 Gráfico de intensidad de turbulencia vista lateral

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

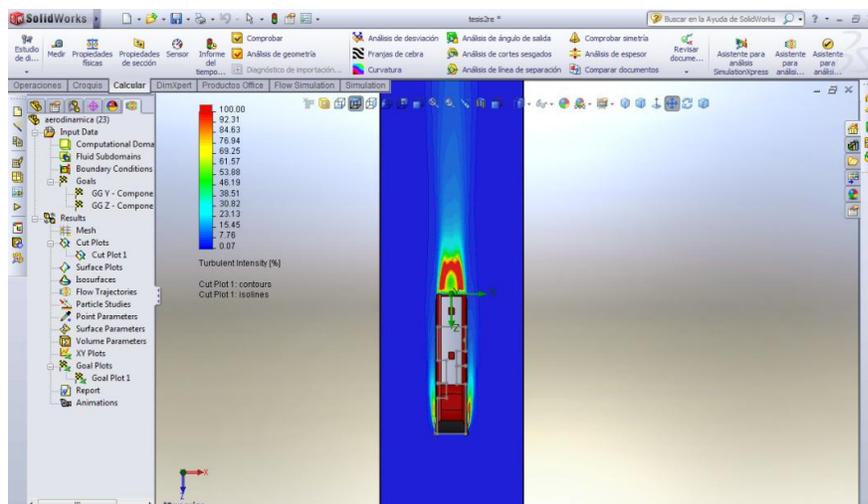


Fig. 5.25 Gráfico de intensidad de turbulencia vista superior

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011

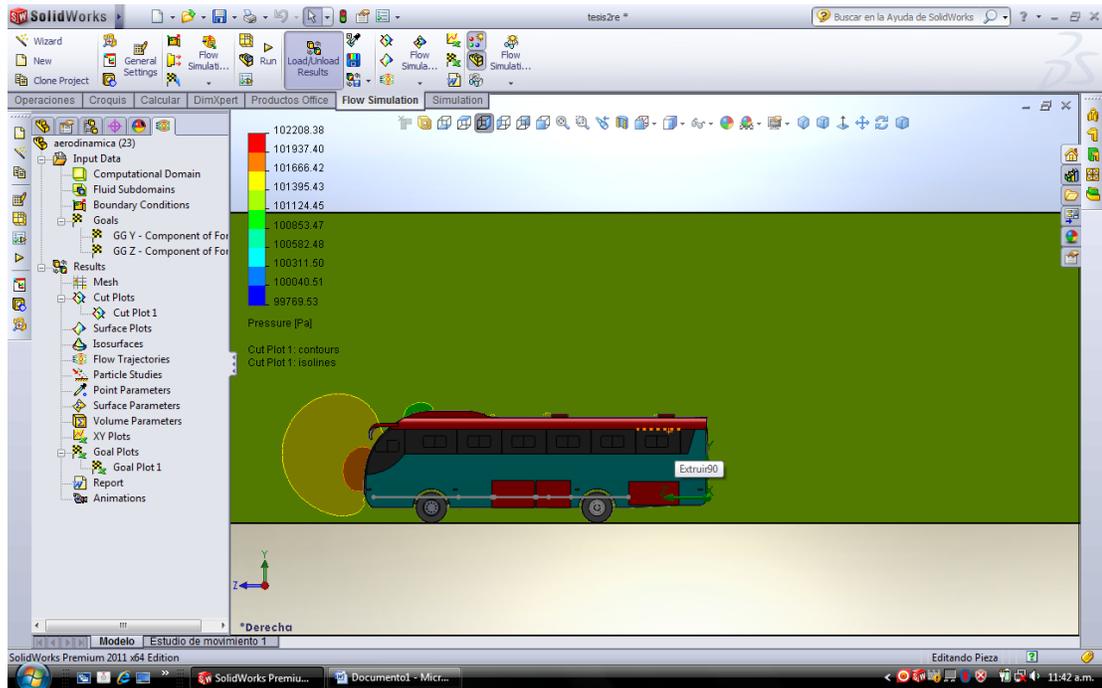


Fig. 5.26 Gráfico presión vista lateral.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011.

En la gráfica de la presión del autobús modificado se ve claramente las mejoras obtenidas por el cambio en la zona delantera, la cual tiene menor número de contornos que originan menor presión, beneficio directo sobre la fuerza de arrastre, y el mejoramiento en el consumo de combustible.

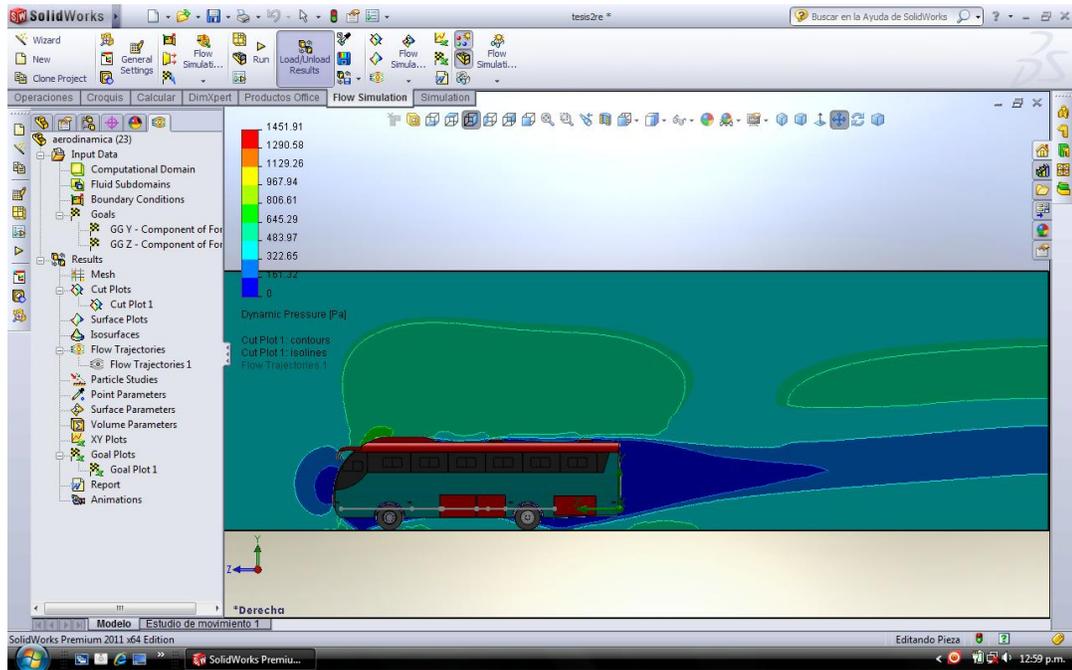


Fig. 5.27 Gráfico presión dinámica vista lateral.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011.

La grafica muestra las mejoras realizadas en el modelo original la presión dinámica ya no afecta todos los contornos, se observa que en la parte inferior del bus ya no tiene mayor influencia este tipo de presión, es decir las líneas de corriente del flujo del aire ya no se estancan en la parte delantera del autobús, siguen las formas del vehículo en la parte superior.

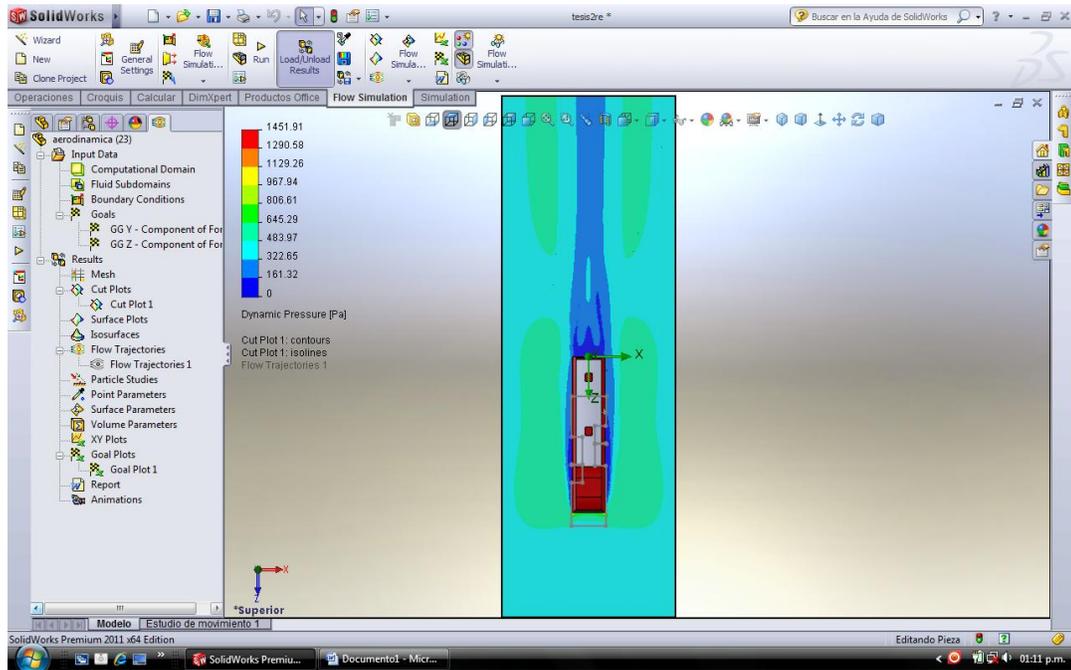


Fig. 5.28 Gráfico presión dinámica vista superior.

Fuente Propia: Paquete Computacional SolidWorks 2011.

Se observa en comparación con el modelo original que la estela generada por la presión dinámica es menor, es decir el fluido al chocar con el autobús genera una menor fuerza de arrastre.

## 5.9.1 MOVIMIENTO DEL FLUIDO

A continuación se puede apreciar la forma que toma el aire alrededor del autobús prototipo mejorado.

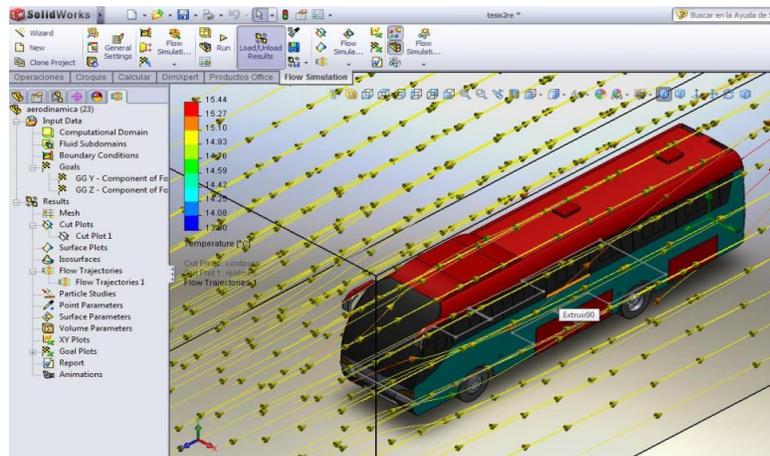


Fig. 5.29.- Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas autobús

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

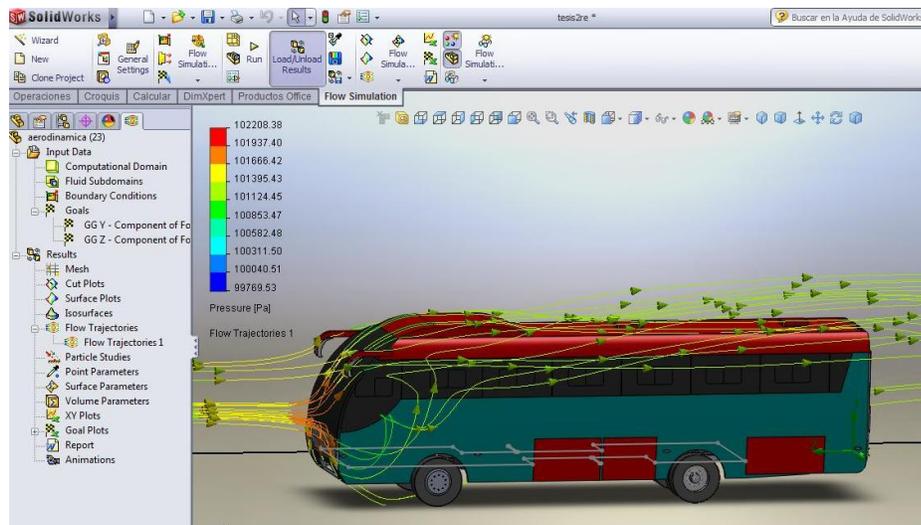


Fig. 5.30.- Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas parte frontal y retrovisores

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

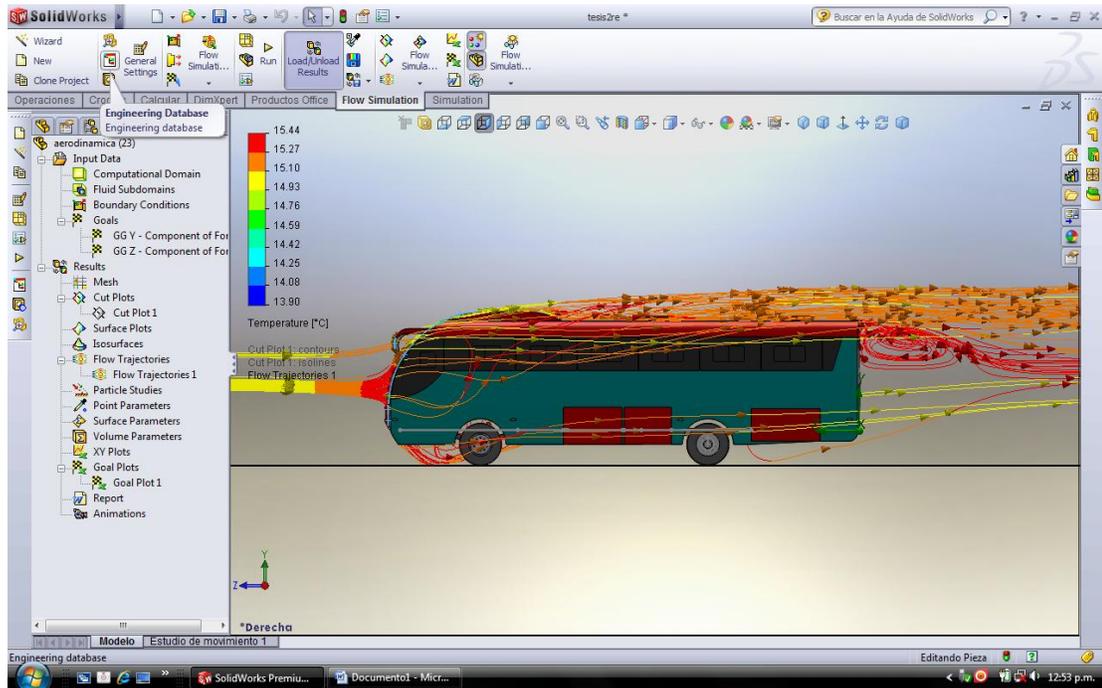


Fig. 5.31.- Movimiento del fluido en forma de líneas y flechas parte frontal y retrovisores

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

En la figura se aprecia la trayectoria del fluido la cual es más uniforme sigue el contorno del autobús sin generar tantos remolinos, comprobando que la forma del vehículo es más aerodinámico, el punto donde se tiene mayor presencia de remolinos es en el alerón de la parte trasera superior del autobús.

## 5.9.2 DATOS PROTOTIPO MEJORADO

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos y calculados con las modificaciones realizadas en la carrocería.

Tabla 5.3.- Valores finales del análisis prototipo mejorado

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Fuerza de arrastre	[N]	2667.14
Fuerza de sustentación	[N]	1833.83
Coefficiente de arrastre	-----	0.678
Coefficiente de sustentación	-----	0.466
Potencia	[Hp]	99.06

Fuente Propia Paquete computacional SolidWorks 2011 Flow Simulation

## 5.9.3 ANÁLISIS DE LA POTENCIA

Disminuye debido a que la fuerza de arrastre del autobús disminuye teniendo una menor resistencia al aire obteniendo un valor de 99.06 Hp, esta es la potencia que necesita el motor para vencer la resistencia al aire.

#### **5.9.4 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE**

El coeficiente de arrastre disminuye en su valor ya que se incrementó el área frontal del autobús obteniendo un valor de  $C_x = 0.678$  el cual está dentro de los valores recomendados por NTE 1323.

#### **5.9.5 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN**

De igual manera este valor varia obteniendo un valor de  $C_z = 0.466$  sin embargo la fuerza de sustentación le permite al autobús permanecer pegado al piso y sea más estable debido a que la fuerza es menor que el peso del autobús.

## 5.10 ENSAYO DE VUELCO

### 5.10.1 VUELCO

Es considerado cuando un vehículo experimenta un movimiento en el espacio, este movimiento puede implicar el movimiento lineal y angular en las tres dimensiones.

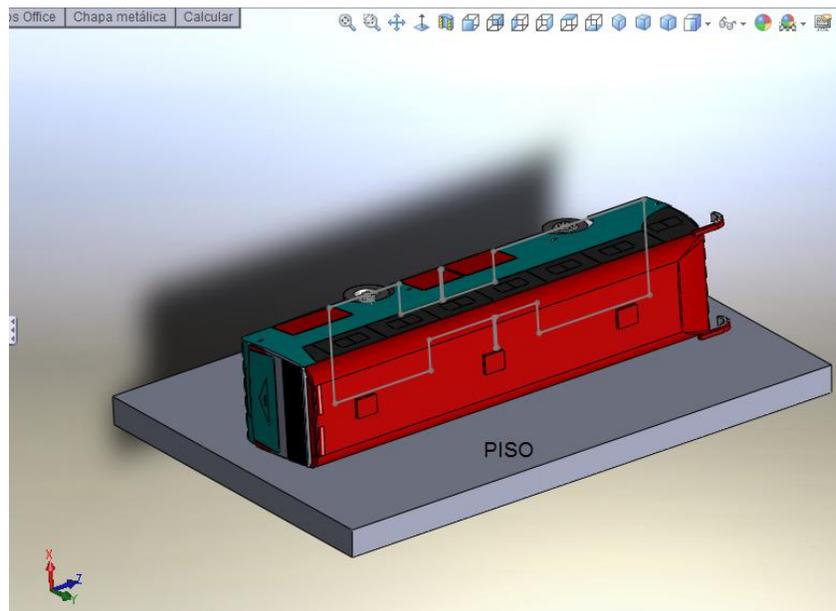


Fig. 5.32.- Simulación vuelco de un autobús

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

### 5.10.2 FUERZA DE VUELCO

Es la fuerza horizontal aplicada en el centro de gravedad de una sección transversal del autobús que le producirá el volcamiento, considerando el punto de pivote el punto de contacto exterior del neumático.

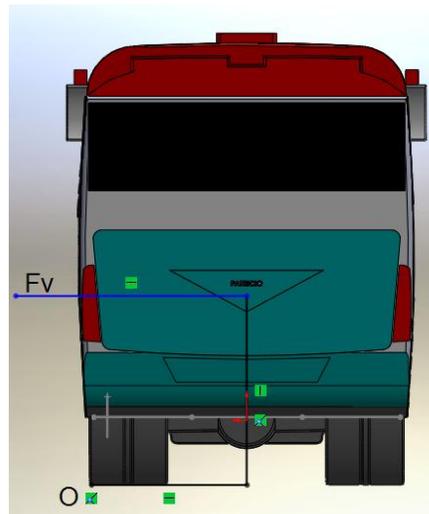


Fig. 5.33.- Fuerza de vuelco

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

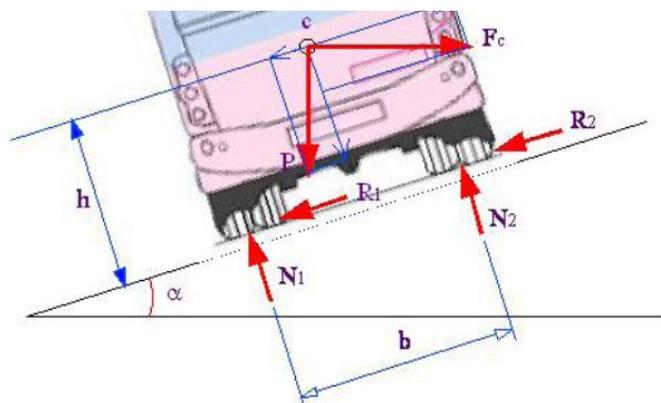


Fig. 5.34.- Fuerzas actuantes sobre el autobús en una curva

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

Donde:

Pa = Peso del autobús

Fc = Fuerza centrífuga

R = Fuerza de rozamiento

C = Centro de gravedad

N = Reacción normal

El vuelco del autobús se producirá si el momento producido por las fuerzas desestabilizadoras supera al momento generado por las fuerzas estabilizadoras que inciden sobre la carrocería.

Las condiciones de vuelco se producirá si el valor de cualquiera de las dos reacciones verticales, N1 o N2 se anula totalmente, generando vuelco hacia el exterior o vuelco hacia el interior de la curva.

Se puede afirmar que predominara la condición de vuelco en aquellos supuestos casos que el rozamiento movilizado sea alto y el autobús presente centra de gravedad más elevados.

### **5.10.3 CONDICIONES DE ENSAYO SEGÚN LA NTE 1323**

Se entenderá por ensayo de vuelco el realizado en un vehículo completo o una sección de la carrocería, que represente una parte de la superestructura, a escala real, para probar la resistencia suficiente para asegurar que durante y después del ensayo de vuelco, ninguna parte de la estructura invada el espacio de supervivencia.

Los asientos tanto del conductor como de los pasajeros se pondrán con el respaldo en posición vertical, si los asientos se pueden regular en altura estos estarán en la posición más alta.

Todas las puertas y ventanas que pueden ser abiertas, deberán ser cerradas normalmente, pero no bloqueadas. Las ventanas que están acristaladas pueden o no estar de sus vidrios, en el caso que estén desprovistos de sus vidrios se deberá instalar en el vehículo un peso equivalente en lugares adecuados.

Los neumáticos deberán tener la presión adecuada prescrita por el fabricante, los amortiguadores deberán estar en buen estado de funcionamiento. Si el vehículo está equipado con un sistema de suspensión neumática, se asegurará la alimentación de aire.

El carburante, ácido de la batería etc. materias explosivas podrán sustituirse por otros materiales.

El área de impacto será de un material rígido: cemento.

#### 5.10.4 MÉTODO DE ENSAYO

Es un ensayo de basculamiento lateral que se describe a continuación:

- a) El vehículo es colocado en la plataforma con la suspensión bloqueada, es decir, los ejes los resortes y los elementos de sujeción estarán fijos con respecto a la carrocería, y va inclinándose poco a poco a su posición de equilibrio inestable

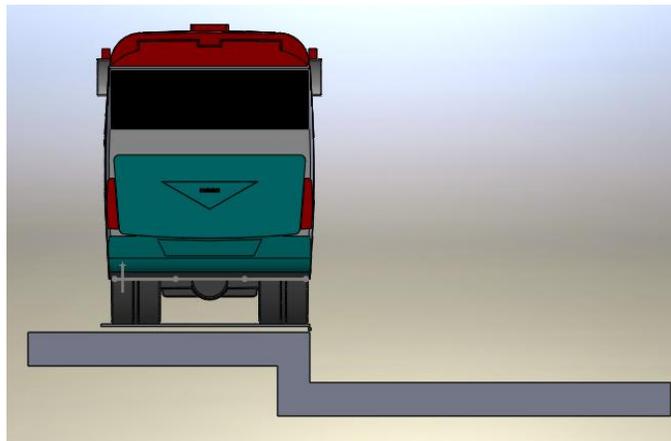


Fig. 5.35.- Autobús colocado en la plataforma

Fuente Propia: Paquete computacional SolidWorks 2011

- b) La posición del vehículo en la plataforma será tal que cuando la plataforma esté en posición vertical:
  - El eje de rotación estará paralelo al eje longitudinal del vehículo.
  - El eje de rotación estará entre 0 y 200 mm desde el escalón vertical entre los dos niveles.

- El eje de rotación estará entre 0 y 100 mm desde la cara exterior del neumático del eje más ancho.
- El eje de rotación estará entre 0 y 100 mm debajo del plano horizontal en la posición inicial en la cual se encuentran los neumáticos.
- La diferencia entre la altura del plano horizontal de la posición inicial y el plano horizontal situado debajo, sobre el cual se desarrollara el impacto no será menor de 800 mm.

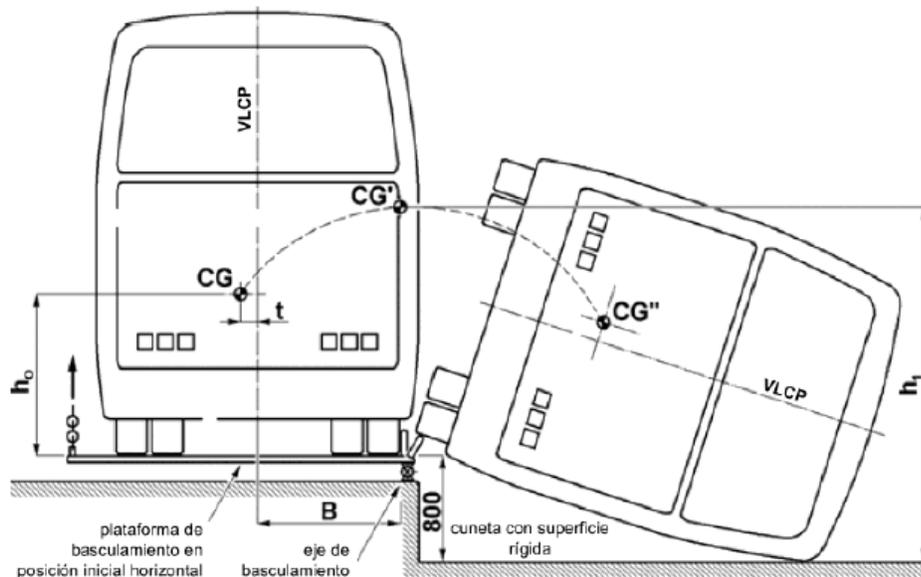


Fig. 5.36.- Especificaciones del ensayo de vuelco

Fuente: Diseño de una plataforma para ensayo de vuelco de carrocerías para autobuses según el RTE INEN 1323.

- c) El vehículo basculará sin balancearse y sin efectos dinámicos, hasta que alcance el equilibrio inestable y comience el vuelco.

- d) La velocidad angular de la plataforma de basculamiento no superará los 5 grados/seg. (0.087 radianes/seg).
- e) Para la observación interior se utilizará fotografía ultrarrápida, video, gávilos deformable, sensores de contacto eléctrico. Esta verificación se llevará a cabo en todas las zonas de compartimientos de viajeros, personal y del conductor en las que pueda parecer que el espacio de supervivencia se encuentra en peligro, las posiciones exactas las decidirá el servicio técnico.
- f) Se recomienda la observación exterior y la grabación del proceso de vuelco y deformación, lo que significa:

Se utilizarán dos cámaras ultrarrápidas una delante y otra detrás, deberán estar colocadas lo suficientemente lejos de las paredes delanteras y traseras del autobús, para tener una imagen adecuada evitando la distorsión en la zona observada.

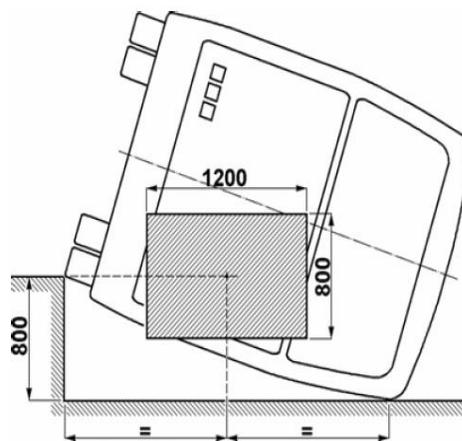


Fig. 5.37.- Campo de visión Cámara exterior

Fuente: Diseño de una plataforma para ensayo de vuelco de carrocerías para autobuses según el RTE  
INEN

### **5.10.5 DOCUMENTACIÓN DEL ENSAYO.**

El fabricante facilitará una descripción detallada del vehículo sometido al ensayo de vuelco que consta de:

- Declaración precisa del centro de gravedad en el vehículo
  
- Se demostrará la sustitución equivalente (distribución de la masa y las instalaciones).

En el informe de ensayo se incluirá imágenes, videos, valores medios que muestren:

- Datos e información para identificar el tipo de vehículo, el propio ensayo y el personal responsable del ensayo y de su evaluación.
  
- La posición más alta y más baja del centro de gravedad con respecto al nivel del suelo de la cuneta.

## CAPITULO 6

### PROCESOS

#### 6.1 QUÉ ES UN PROCESO

Un proceso es un conjunto de actividades lógicas y secuencialmente ordenadas que transforman una entrada en una salida, que pueden ser operaciones, transportes, inspecciones, retrasos y almacenamientos. De forma gráfica se lo puede representar de la siguiente manera:



Fig. 6.1.- Proceso

Fuente: El medicointeractivo.com

Un proceso toma insumos para procesarlos mediante una serie de operaciones cuya secuencia y número se especifica para cada caso. Las operaciones pueden ser simples o múltiples y asumen características diferentes según se desee: mecánica, química, de ensamblado, de inspección o control, de recepción.

## 6.2 CARACTERÍSTICAS DE UN PROCESO

En todo proceso o sistema operativo se involucran características como:

**Capacidad:** Característica que determina la tasa máxima disponible de producción por unidad de tiempo.

**Eficiencia:** Es la relación entre la generación total de los productos o servicios y los insumos en materiales, capital o mano de obra.

La utilización eficiente de los recursos (insumos) permitirá lograr una producción mayor con la misma cantidad de insumos. Esto permite lograr el uso racional de la materia prima, eliminar desperdicios, optimizar la mano de obra, estandarizar los tiempos adecuadamente, el diseño del proceso la distribución de planta, y otros factores relacionados.

**Eficacia:** Podemos definirla como una magnitud que nos permite medir el resultado real con lo planificado, mediante la comparación entre los dos. Eficacia es plantearse y establecer un plan estándar antes que el proceso comience a producir un resultado, implica fijar metas y mediciones de ejecutoria relativas a las metas propuestas.

**Calidad:** Condiciones que cumple el producto de acuerdo a las especificaciones de diseño dadas por el mercado. Las políticas sobre calidad se basan necesariamente en una evaluación de mercados. Tales políticas involucran interrogantes acerca de la forma en que los consumidores miden realmente la calidad del producto: apariencia, diseño, aspereza, confiabilidad, larga duración u otros criterios.

## **6.3 CLASE DE PROCESOS**

### **6.3.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN INTERMITENTE**

El proceso de producción intermitente se basa en una estrategia de flujo flexible en la cual la mano de obra y la maquinaria se ocupan de diversas tareas creando artículos o servicios en cantidades significativas.

- Producción de un vaciado de metal para atender un pedido personalizado
- Manejo de correo
- Atención medica

### **6.3.2 PROCESO POR LOTES**

El proceso por lotes se caracteriza por su volumen, variedad y cantidad; magnitudes que lo diferencian de un proceso de producción intermitente. Su principal diferencia está en los volúmenes que son más altos, porque los mismos productos, servicios, u otros similares se suministran continuamente.

Los ejemplos de este tipo de proceso incluyen:

- Procesos de moldeo en los que se introducen en una máquina un molde para producir un artículo. Entonces se fabrica el pedido de ese componente o producto
- Procesos de maquinado de metales en el que se ajusta una máquina para realizar la operación necesaria de corte de metales para un producto y se procesa toda la cantidad de pedido al terminar, la máquina en cuestión se vuelve a ajustar para hacer el corte de metal requerido para otro producto.

### **6.3.3 PROCESO EN LÍNEA**

Cuando hablamos, de proceso en línea, nos referimos a la secuencia de operaciones lineales que utiliza el fabricante de un producto o en brindar un servicio.

### **6.3.4 PROCESOS CONTINUOS**

Son el resultado final o extrema de la producción estandarizada, de alto volumen y con flujos de línea rígidos. Su nombre proviene de la forma como los materiales se desplazan en el curso del proceso, son de frecuencia intensiva tanto en capital, y procesos de producción, no se interrumpe las 24 horas del día, esto permite maximizar la utilización de equipos y evitar costosos paros y arranques de los mismos. La maquinaria y equipo están diseñados para realizar siempre la misma operación; así como para receptor automáticamente el proceso anterior de la cadena de producción

## **6.4 DETERMINACIÓN DE LAS TAREAS Y SECUENCIAS**

Con base en el diseño del producto se hace la descripción de cada operación, inspección, transporte, aplicando técnicas de graficación y diagramación que ayudan en esta actividad.

Los diagramas de operaciones describen la forma como una parte está relacionada con la otra, los diagramas de flujo del proceso se desarrollan en parte con la información de los diagramas de operación e indican la secuencia de las actividades del proceso.

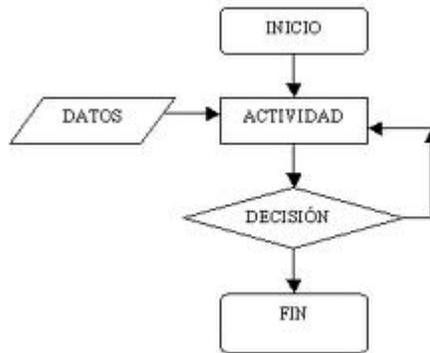


Fig.6.2.- Notación para procesos administrativos y flujos de información

Fuente: adrformación.com

## 6.5 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE PROCESO

Se deben tomar decisiones relativas al tipo de sistema de producción ya sea una vez, intermitente o continuo y al método de producción artículo único, lote, serie, masivo o continuo para poder definir el tipo el proceso.

La elección del proceso depende de la secuencia de producción, el volumen a producirse, la estabilidad de la demanda en el tiempo, la duración esperada del producto, los costos de almacenamiento de los insumos y del producto terminado.

La técnica para mejorar la productividad y reducir costos sólo es superada por la instalación de nuevas máquinas y tecnología para la producción. Una buena distribución de planta se traduce en reducción de costos como resultado de:

- Simplificación del proceso productivo
- Disminución de los retrasos de producción
- Utilización eficiente del proceso.
- Mejor utilización de la maquinaria y de mano de obra
- Reducción de la manipulación de los materiales.

## **6.6 DISEÑOS POR PROCESOS**

El diseño o planificación por procesos es una herramienta para la optimización de cualquier empresa productiva, ya que solo determinando cuáles son los procesos que se van a realizar, se determina que recursos e insumos se necesitan para alcanzar los objetivos o productos y cómo se realizaría de la mejor manera posible las tareas respectivas.

Las ventajas que se obtienen al aplicar estas herramientas son:

- Mejor coordinación del trabajo
- Controles de costos simples y eficaces
- Mayores niveles de productividad
- Mayor flexibilidad de la empresa.

## **6.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA**

La empresa realiza varios tipos de modelos de autobuses siendo estos; Bus tipo, intraprovincial, bus turismo, big city, en nuestro caso se determinara el proceso productivo en la elaboración de la carrocería en el autobús interprovincial silver glass.

### **6.7.1 DEPARTAMENTO DE DISEÑO**

Una vez hecha la recepción del chasis Hino AK se procede al estudio y análisis de las medidas para la elaboración de los planos de las diferentes secciones del autobús (piso, cerchas, techo, ventanas) esto depende del modelo que se fabricará.

## 6.7.2 SECCIÓN MÁQUINAS HERRAMIENTAS

En esta sección se procede a la elaboración de los diferentes perfiles que son los refuerzos para la estructura por ejemplo:



Fig. 6.3.- Perfil G

Fuente Propia: Carrocerías Patricio Cepeda.



Fig. 6.4.- Perfil omega

Fuente Propia: Carrocerías Patricio Cepeda

### 6.7.3 SECCIÓN ESTRUCTURAS

**Preparación material.**- antes de comenzar la construcción de la carrocería los materiales se encuentran debidamente organizados en un área destinada, la cual contiene todo tipo de material necesario para la fabricación de la estructura.



Fig. 6.5.- Material utilizado en la estructura

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

**Preparación del chasis.**- ingresado el chasis al área de producción este es alineado para que la carrocería tenga una posición horizontal y nivelada con respecto a la superficie.

**Construcción del piso, laterales, techo.**- luego de haber realizado los procesos de corte, doblado de los materiales, estos son transportados al ensamblaje en el chasis. Los materiales se encuentran soldados entre sí.



Fig. 6.6.- Piso, laterales, techo.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

**Estructura de cajuelas.-** estas son soldadas a los refuerzos de la estructura de la carrocería.



Fig. 6.7.- Cajuelas

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

**Construcción de las gradas.-** se construye las gradas de acceso en la parte delantera de la estructura siendo estas panchas de acero laminado soldadas a los refuerzos de la estructura.

#### 6.7.4 SECCIÓN FRENTE Y RESPALDO

**Estructura parte delantera y posterior.-** Se construye la estructura de los refuerzos (guardachoque) de la parte delantera y posterior estas son soldadas a la estructura principal y al chasis.



Fig. 6.8.- Guardachoque parte delantera

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

**Estructuración del portallanta.-** el alojamiento de la llanta de emergencia es construida en la parte trasera del bus con una compuerta de seguridad.



Fig. 6.9.- Estructuración portallanta

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

#### **6.7.5 FORRADO EXTERIOR**

**Forrado del techo.-** se prepara las planchas de acero de acuerdo a las medidas de los planos, son tensadas y luego se procede al montaje, se las une con puntos de suelda en los filos además son remachadas y se colocan las claraboyas.

**Forrado de laterales.-** luego de colocar los refuerzos en las partes laterales se colocan las planchas preparadas y tensadas obteniendo la planitud de la superficie.

**Adaptaciones.-** se realiza las diferentes adaptaciones como las siguientes: depurador, guardalodos etc.

#### **6.7.6 SECCIÓN FIBRA DE VIDRIO**

**Formado de partes en fibra.-** se colocan los diferentes moldes de fibra de vidrio en las partes de la estructura como: parte posterior faros, mascarilla del frente, parte posterior alerón etc.



Fig. 6.10 Sección forrado, fibra.

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

### 6.7.7 SECCIÓN PUERTAS Y COMPUERTAS

**Construcción de puertas.-** se colocan los parantes de las puertas y sus respectivos mecanismos de funcionamiento en la carrocería.

**Construcción de compuertas.-** se elabora la estructura de las compuertas son forradas y se colocan las chapas de apertura así como los seguros.

**Construcción puerta posterior.-** es estructurada y moldeada en fibra colocando su respectivo mecanismo de funcionamiento.



Fig. 6.11 Puerta posterior

Fuente Propia: Autobús Patricio Cepeda

### **6.7.8 SECCIÓN DIVISIÓN Y TAPA DEL MOTOR**

**Tapa del motor.-** se realiza la construcción del piso del chofer se sueldan refuerzos y se forra el piso, se construye las bases de la tapa del motor y sus respectivos acabados.

**División cabina.-** se estructura la cabina y la puerta realizando adaptaciones a la carrocería además de las bases de la televisión

**Adaptación del tablero.-** se procede a la colocación del tablero utilizando materiales como la fibra para el molde requerido.

### **6.7.9 SECCIÓN CABINA**

**Piso.-** se colocan las planchas de acero de acuerdo al diseño de la carrocería son sujetadas por pernos.

**Adaptación consola.-** una vez moldeada en fibra se adaptada a la cabina del chofer según el modelo del autobús.

**Tapizado de la cabina.-** se preparan las superficies de la cabina y se procede a tapizar toda la cabina.

### **6.7.10 SECCIÓN FORRADO INTERIOR**

**Forrado interior de laterales.-** son forrados las partes laterales internas de la estructura con planchas, son remachadas al interior de la estructura.

**Forrado techo interior.-** se coloca los moldes ya fabricados de fibra de vidrio y se forra las partes interiores con planchas.

### 6.7.11 SECCIÓN ASIENTOS

**Colocación de asientos.-** se colocan los asientos de los pasajeros, chofer, controlador además de los extintores, basureros etc.

### 6.7.12 SECCIÓN PINTURA

**Pintado de la carrocería.-** una vez terminada la estructura de la carrocería, son preparados para ingresar a la cabina de horno donde se colocan adhesivos en las partes a no ser pintados, después se pinta la carrocería con la pintura de poliuretano de acuerdo al diseño especificado.



Fig. 6.12 Cabina de pintura

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda

**Pintado de accesorios.-** se pintan piezas pequeñas como puertas, mecanismos de accionamiento etc.

### **6.7.13 SECCIÓN ELECTRICIDAD**

Se realizan todas las instalaciones eléctricas para controlar los diferentes sistemas eléctricos del autobús.

- **Exterior.-** Faros, neblineros, direccionales.
- **Interior.-** luces de salón, luz de cabina.
- **Accesorios.-** sistema de audio, video, limpiaparabrisas.

### **6.7.14 SECCIONES ACABADOS**

**Instalaciones neumáticas.-** se colocan la instalación neumática para las cañerías, válvulas de accionamiento de las compuertas.

**Montaje de ventanas.-** son colocadas las ventanas y selladas correctamente.

**Colocación de accesorios.-** se colocan las baterías, cortinas etc.

**Colocación de parabrisas.-** se pegan los vidrios en la cabina, parabrisas parte delantera y posterior y sellados adecuadamente.

**Limpieza general.-** se efectúa la limpieza general de todo el autobús tanto interna como externa.

**Control de calidad.-** el ingeniero encargado del departamento de producción es el encargado de verificar acabado superficial, pintura, sistemas neumáticos, sistemas

eléctricos, accesorios, impermeabilidad una vez realizado la inspección se realiza la prueba de ruta verificando su estabilidad garantizando la calidad en el producto.

**Entrega del autobús al cliente.-** finalmente el autobús es entregado al cliente completamente terminado con las especificaciones realizadas en el contrato.



Fig. 6.13 Autobús terminado

Fuente: Carrocerías Patricio Cepeda.

## **CAPITULO 7**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 CONCLUSIONES**

- Con la inclusión de nuevas herramientas computacionales en el diseño de Autobuses se ha dado un mejor desarrollo en la elaboración de las unidades de transporte de pasajeros, por la factibilidad del análisis pre constructivo de las unidades.
- Gracias a la elaboración del presente proyecto se han determinado los principales parámetros para el diseño de las unidades de transporte del tipo interprovincial, con el empleo de la INEN NTE -1323 y el RTE 043, se ha comprobado que la unidad en mención cumple el mayor número de requisitos y exigencias establecidos por las entidades gubernamentales locales para proteger la vida y la seguridad de los pasajeros.
- Con el uso del software SolidWorks, con base en el empleo del Método de los Elementos Finitos, se realizó el análisis de tipo cuasi-estático en la estructura de la unidad de transporte interprovincial, teniendo resultados óptimos, los cuales se encuentran dentro de los límites permisibles exigidos por la NTE 1323.

- Se ha conseguido evaluar, la funcionalidad, factibilidad y seguridad de la unidad de transporte, así como parámetros de geometría, durabilidad, resistencia, costo y disponibilidad de cada uno de los elementos que constituyen la estructura del autobús.
- Se ha determinado que el empleo del acero estructural ASTM A-36 es adecuado para la aplicación de estructuras de autobuses, por su disponibilidad en el mercado y por cumplir con los requisitos de resistencia y rigidez para la construcción de estructuras para autobús.
- Para el tipo de estructura en estudio, por las características geométricas y las propiedades mecánicas del material seleccionado se utilizó el criterio de fallo de Método de Energía de Distorsión (Von Mises) considerado como el mejor estimador para materiales dúctiles bajo cargas estáticas, normales, cortantes o combinados totalmente reversibles.
- El programa dentro del análisis de los resultados permite visualizar tres cuantificaciones, la primera permite representar el tipo de carga al que está sometido el elemento, sea esta de tipo normal, cortante o combinada, la misma indica el valor del punto que tiene el mayor esfuerzo, es decir tiene la condición más crítica.
- La segunda cuantificación en los resultados muestra el valor de la deformación máxima que presenta el miembro estructural bajo las situaciones, o combinación de cargas establecida.

- El programa selecciona el criterio de fallo de Von Mises por ser uno de los métodos más confiables, el cual calcula el equivalente de Von Mises y este valor es comparado con el límite elástico del material para predecir el rendimiento de la pieza.
- La tercera cuantificación de los resultados visualiza el factor de seguridad, que representa la medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga.
- En el análisis de la estructura del Autobús PATRICIO CEPEDA, se ha podido determinar que las zonas críticas se encuentran ubicadas, en la parte del maletero posterior, y en la parte de los arcos superiores de las cerchas.
- La primera condición de zona crítica el material tiene un esfuerzo máximo de 131 Mpa que no sobrepasa el límite elástico del material empleado el cual tiene un valor de  $S_y = 250\text{Mpa}$ .
- Se puede concluir con el presente trabajo que todos los materiales no superan su límite elástico dentro de sus propiedades mecánicas, es decir los materiales soportan todas las situaciones críticas exigidas en la norma en cada una de sus respectivas combinaciones.
- El punto crítico del desplazamiento máximo tiene un valor de 4.064 (mm) el cual en función de la NTE -1323, establece que ningún elemento de la estructura debe sufrir una deformación mayor a 1/240 veces su longitud con

base en este parámetro tenemos un valor de  $(2367/240) = 9.86(\text{mm})$ , el cual está dentro del límite permisible.

- El factor de seguridad bajo la condición más crítica está localizado en la parte del piso del maletero posterior con un valor de 1.87 esto garantiza que la estructura está diseñada con un alto grado de confianza para todos los elementos.
- En base al estudio ninguno de los miembros estructurales altera o perturba el espacio de supervivencia, punto de relevancia en el momento de interpretar los resultados del análisis, de esta manera no están los pasajeros expuestos a ningún tipo de lesión.
- En la parte aerodinámica, Se pudo apreciar que una vez que se realizaron las modificaciones en el autobús, el coeficiente de arrastre disminuyó de 0,82 a 0,67, ya que disminuye también la fuerza de arrastre esto influye de gran manera en el rendimiento y la vida útil del motor.
- El arrastre se debe en parte a la fricción del aire sobre la superficie del vehículo siendo esta la mayor y más importante fuerza aerodinámica encontrada en autos de pasajeros a velocidades normales de autopista.
- Se ha demostrado que la aerodinámica es uno de los factores más importantes tanto en los autos convencionales y autos de carrera, ya que por medio de la misma se pueden perfeccionar muchos detalles que influyen en el desempeño del vehículo, ya sea en una pista de carreras o en carretera.

- Los parámetros que rigen las formas de un auto de calle son muy diferentes a los de un auto de carreras: mientras que en los autos de carreras la eficiencia aerodinámica, la sustentación negativa y las reglas propias de cada categoría son las que le dan forma al auto, en los autos de calle la estética, la funcionalidad, el consumo de combustible, la seguridad y el uso particular del carro son los que determinan su forma.
- Para el ensayo de vuelco el espacio de supervivencia es el parámetro más importante para comprobar si la estructura del autobús aprueba o no el ensayo.
- Una vez realizado el ensayo de vuelco se deben verificar las medidas del espacio de supervivencia, comprobando que las alteraciones producidas en el autobús no hayan perturbado o modificado el espacio en mención, de esta manera, garantizar la supervivencia los pasajeros.

## RECOMENDACIONES

- Para una correcta representación geométrica es necesario hacer un estudio teórico del comportamiento de la unidad, disponer de planos dimensionales adecuados además de conocer la aplicación que se pretende dar a la misma y elegir una norma correcta de comparación de resultados.
- Actualizar permanente los paquetes computacionales, de acuerdo al avance tecnológico y disponibilidad en el mercado, para asegurar confiabilidad en el análisis de resultados.
- Tener siempre presentes los criterios fundamentales y conceptos básicos de ingeniería al utilizarla la ayuda de software de diseño.
- Comprobar en cada análisis el comportamiento que origina cada una de las combinaciones de carga, emplear las situaciones más críticas para determinada una análisis lo más real posible.
- Analizar con criterio cuales son los miembros estructurales donde se van a ubicar las cargas, con el propósito de que los resultados dados, sean los más aproximados a la realidad de la estructura del autobús.
- Una vez realizado el estudio por el software, la visualización debe ser a escala real, en la cual se tendrá los resultados exactos del análisis.
- Se recomienda reforzar la base del maletero posterior en la parte delantera, la unión entre el perfil L y el miembro estructural tipo triangulo.

- Para el elemento con el desplazamiento máximo, se recomienda reemplazarlo por un Tubo cuadrado de TC50X50X3, ubicado en la parte posterior de la estructura, en la cercha superior.
- Para disminuir el efecto de la carga de frenado (CF) en las cerchas principales se recomienda reemplazar por un tubo de TC de 50X50X2.6(mm).
- Para disminuir el efecto de la carga de giro (CG) en la segunda combinación de cargas en el respaldo de las cerchas principales, y los arcos de cerchas, se recomienda aumentar el espesor de la plancha de acero ASTM A-36 pero mantener la geometría del perfil, ya que este perfil es elaborado en las instalaciones de la empresa.
- En la parte aerodinámica, se recomienda mejorar los contornos de la parte delantera del autobús, logrando de esta forma una trayectoria más uniforme del fluido sin ocasionar turbulencias, reduciendo la carga de resistencia al aire frontal.
- Aumentar el área total de la unidad de transporte, de preferencia en la altura del vehículo.
- Se recomienda construir una cúpula en la parte delantera superior del autobús para el mejor direccionamiento del flujo de aire.
- Se recomienda tener claro los conceptos presentes en el comportamiento de los fluidos, presión, presión dinámica, temperatura.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANIBAL ISIDORO CARMONA, Aerodinámica y actuaciones del avión, decima primera edición, España.

ARCHIVOS DE CARROCERÍAS PATRICIO CEPEDA.

BERNARD J. HAMROCK – BO O. JACOBSON – STEVEN R. SCHMID, Elementos de máquinas, Mexico, McGraw - hill.

JOSEPH E, SHIGLEY – CHARLES R. MISCHKE, Diseño en ingeniería mecánica, sexta edición, McGraw - Hill.

LA AERODINÁMICA EN EL EQUIPO DEPORTIVO, el entretenimiento y las máquinas - autos de carreras, 2002.

MANUAL PARA EL MONTAJE DE LA CARROCERÍA, Modelo AK8JRSA.

MANUAL PARA EL MONTAJE DE CARROCERÍAS SCANIA.

MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS, Carrocerías y bastidores, CEDE.

NTE INEN 1323 – 2009, Instituto ecuatoriano de normalización, vehículos automotores y carrocerías de autobuses.

ROBERT L. MOTT, Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición.

ROBERT L. NORTON, Diseño de elementos de máquinas, primera edición.

ROBERT L. MOTT. Mecánica de los Fluidos Aplicada, Cuarta edición, México. 1996.

ROBERT L. MOTT, Resistencia de materiales aplicada, tercera edición, México.

RTE INEN 043 – 2010, Instituto ecuatoriano de normalización, autobús interprovincial e intraprovincial, primera edición.

SOLIDWORKS, flow simulation, tutorial 2009.

## **PÁGINAS DE INTERNET**

Clasificación vehicular Reglamento Nacional de vehículos 2003, Documentos.

Especificaciones Técnicas de seguridad, confort y medio ambiente para autobuses convencional.

Proyecto de cooperación UE-CAN Estadísticas según “ANDESTAN”

URL:

<http://www.Batidores.com>

<http://www.análisis-dsc.com>

<http://www.caranddriverthef1.com>

<http://www.canapino.com>

<http://www.ferrari.com>

<http://www.porsche917.com.ar>

<http://www.aerodyn.org>

<http://www.IPAC.com> /aceros estructurales catálogos.

<http://www.protubsa.com/> Especialistas en barras y tubos de aceros.

<http://www.yuanhangsteel.com/> Propiedades mecánicas y químicas del material ASTM A-36.

<http://www.adrformación.com>

<http://www.El medicointeractivo.com>

<http://www.Resistenciadematerialesteoría.blogspot.com>

<http://www.Manual de Vuelo, Juan Zitnik.>

<http://www.proyecto-de-física.blogspot.com>

<http://www.Monografías.com>

# ANEXOS

# ANEXO A

Certificado de confidencialidad por parte de la empresa

PATRICIO CEPEDA

---

Ambato, 25 de Abril del 2012

Sres:

Ing. Oscar Arteaga  
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TESIS

Ing. Guido Torres.  
CÓDIRECTOR DEL PROYECTO DE TESIS

Presente.-

De mis consideraciones,

Luego de expresar a ustedes mis cordiales saludos, paso a poner en su conocimiento, que desde cuando se iniciaron las conversaciones con los señores Pablo Xavier Méndez Canchig y Luis Eduardo Andrade García para el desarrollo de su tema de Tesis en esta empresa, se acordó que la información respecto a dimensiones detalladas y planos de la unidad a ser analizada, así como fotografías e imágenes donde aparezca personal que labora para la empresa, no podían ser de carácter público, siendo únicamente los resultados del análisis lo que se debería publicar en la misma.

Debido a lo expuesto, solicito a ustedes su comprensión para que permitan hacer público únicamente lo referido en el párrafo anterior.

Agradezco de antemano su atención, deseándoles éxitos en sus funciones.

Atentamente,

# ANEXO B

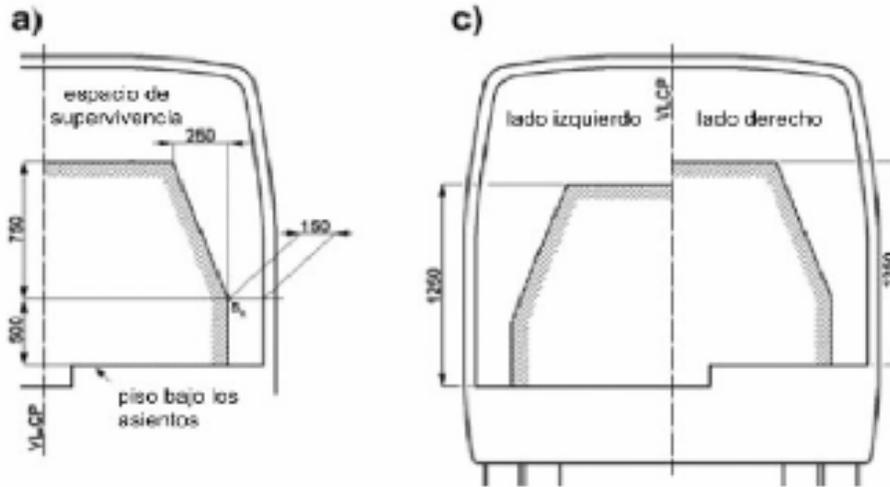
Norma NTE 1323- RTE 043

REQUISITOS-LINEAMIENTOS

FIGURA 1. Vista transversal del espacio de supervivencia. (Ver nota 2)

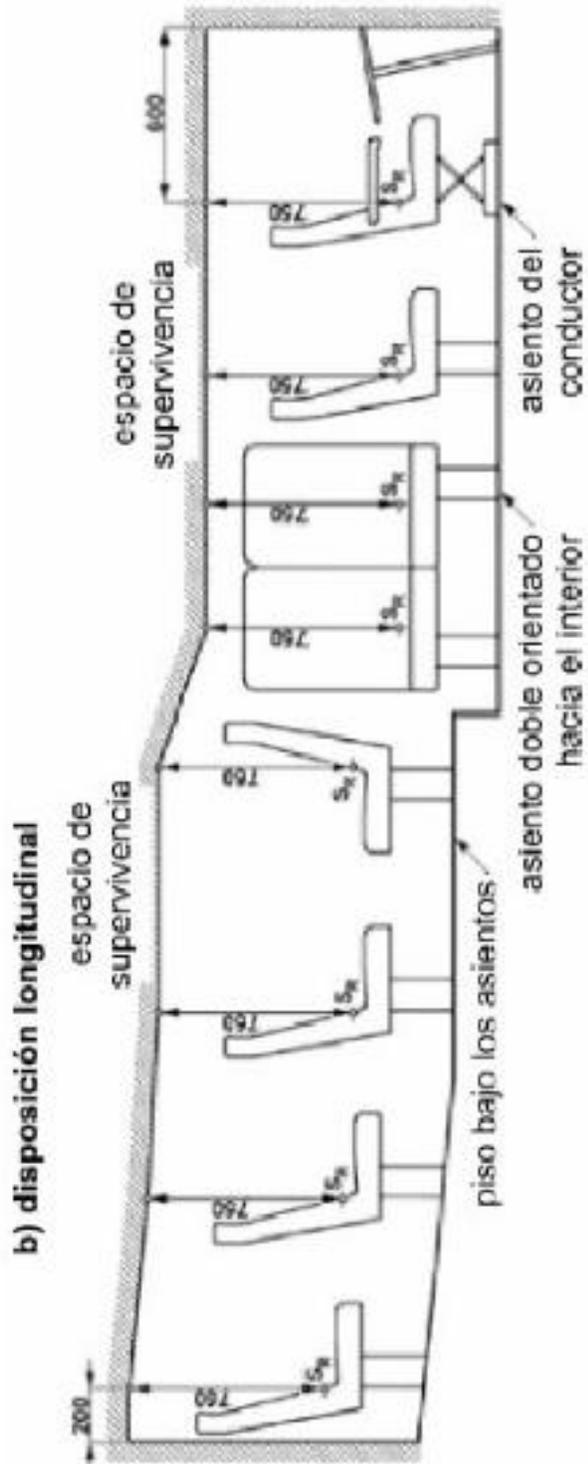
## Especificación del espacio de supervivencia

a) y c) disposiciones laterales



NOTA 2. El objetivo de las figuras 1 y 2 es indicar las dimensiones en milímetros del espacio de supervivencia. Las figuras 1 y 2 no están relacionadas con una forma geométrica o distribución de asientos específica en las carrocerías.

FIGURA 2 Vista longitudinal del espacio de supervivencia



- c.4) Los sistemas de frenos para servicio, parqueo y auxiliares deben cumplir con la Regulación N° 13. Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking, de las Naciones Unidas (ver nota 1).
- d) *Suspensión*. Diseñado exclusivamente para bus de transporte de pasajeros, respetando los diseños originales del fabricante y debe cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN vigentes y el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 (ver nota 1).
- e) *Transmisión*. La transmisión debe ser manual, o automática con retardador de acuerdo al diseño original del fabricante y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes (ver nota 1).
  - e.1) La transmisión automática con retardador será obligatoria para los vehículos interprovinciales en un plazo máximo de 5 años a partir de la entrada en vigencia de este Reglamento.
- f) *Neumáticos*. Los Neumáticos deben cumplir con lo establecido en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 011.

**4.2.3 Velocidad máxima efectiva.** La velocidad máxima efectiva del vehículo no será mayor a la establecida en la Ley Orgánica de Transporte Terrestres, Tránsito y Seguridad Vial y su Reglamento General.

#### **4.2.4 Especificaciones de la carrocería**

- a) *Material de la estructura*. Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN correspondientes vigentes.
  - a.1) Cualquiera que sea el material utilizado en la estructura de la carrocería del vehículo, las partes que la componen deben presentar sólida fijación entre sí a través de, entre otros, soldadura, remaches o tornillos, de modo de evitar ruidos y vibraciones del vehículo, cuando se encuentre en movimiento, además de garantizar a través de los refuerzos necesarios, la resistencia suficiente para soportar en los puntos de concentración de carga (apoyos soportes, uniones, aberturas, etc.) todo tipo de esfuerzo al que puedan estar sometidos.
  - a.2) Podrá ser admitido también el conjunto chasis-carrocería por una estructura autoportante. Dicha estructura debe contar con igual o mejores características de solidez, resistencia y seguridad que las convencionales, obedeciendo siempre a las normas de este Reglamento.
- b) *Parachoques frontal y posterior*. Deben disponer de parachoques frontal y posterior. No deben sobresalir de la carrocería en más de 300 mm y debe contar con elementos de sujeción que aseguren la absorción de impactos. La parte delantera inferior del parachoques delantero estará a una altura máxima de 500 mm desde la calzada y, la parte posterior inferior del parachoques posterior estará a una altura máxima de 600 mm desde la calzada.
  - b.1) Se prohíbe la instalación de elementos de defensa adicionales (tumba burros, aumentos salientes a parachoques o portaequipajes originales, ganchos o bolas porta remolques no removibles que sobresalgan de la carrocería).
  - b.2) El material de los parachoques debe ser metálico dúctil y tenaz o de poliéster reforzado con fibra de vidrio y estructura metálica y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes (ver nota 1).
  - b.3) Las carrocerías de los vehículos de transporte interprovinciales e intraprovinciales deben cumplir con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 323 vigente.

- c) *Ventanas laterales.* Deben ser de cierres herméticos y vidrios de seguridad para uso automotor con un espesor mínimo de 4 mm, y que cumplan los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 669 vigentes. La altura máxima debe ser de 1 000 mm (ver nota 2).
- d) *Parabrisas.* Deben cumplir con los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 669 vigentes.
- e) *Unión chasis - carrocería.* Las uniones entre chasis y la carrocería se realizarán siguiendo exclusivamente las recomendaciones del fabricante del chasis para bus, indicadas en su manual de fabricación y montaje de carrocerías de buses.
- f) *Superficie del piso.* La superficie del piso y de los accesos a las puertas de ingreso y salida, deben ser de material antideslizante y resistente al tráfico.
- g) En los buses, en el caso que existan desniveles en el pasillo de tránsito interno para pasajeros, debe accederse mediante rampas o peldaños con las siguientes características:
  - g.1) *Peldaños.* Huella de 250 mm y contrahuella de 200 mm;
  - g.2) *Rampa.* Inclinación máxima del veinte por ciento (20%) cuando no existan escalones en el pasillo. De quince por ciento (15%) en el caso que existan escalones.
  - g.3) Debe evitarse, que los bordes de los escalones existentes en el pasillo de tránsito de pasajeros se sitúen en las zonas entre asientos o entre otros asientos y mamparas.

#### 4.2.5 Organización externa

##### a) Dimensiones externas del vehículo:

###### a.1) Largo total máximo:

- |                         |           |
|-------------------------|-----------|
| a.1.1) De dos ejes      | 13 300 mm |
| a.1.2) Mayor a dos ejes | 15 000 mm |

a.2) *Ancho total.* El ancho total de la carrocería debe ser el que cubra la trocha, sin sobresalir más de 75 mm a cada lado.

a.3) *Altura total máxima:* 4 000 mm (con escotilla).

##### b) Voladizos

###### b.1) Delantero:

- b.1.1) Mínimo 2 000 mm
- b.1.2) Máximo 3 000 mm

###### b.2) Posterior

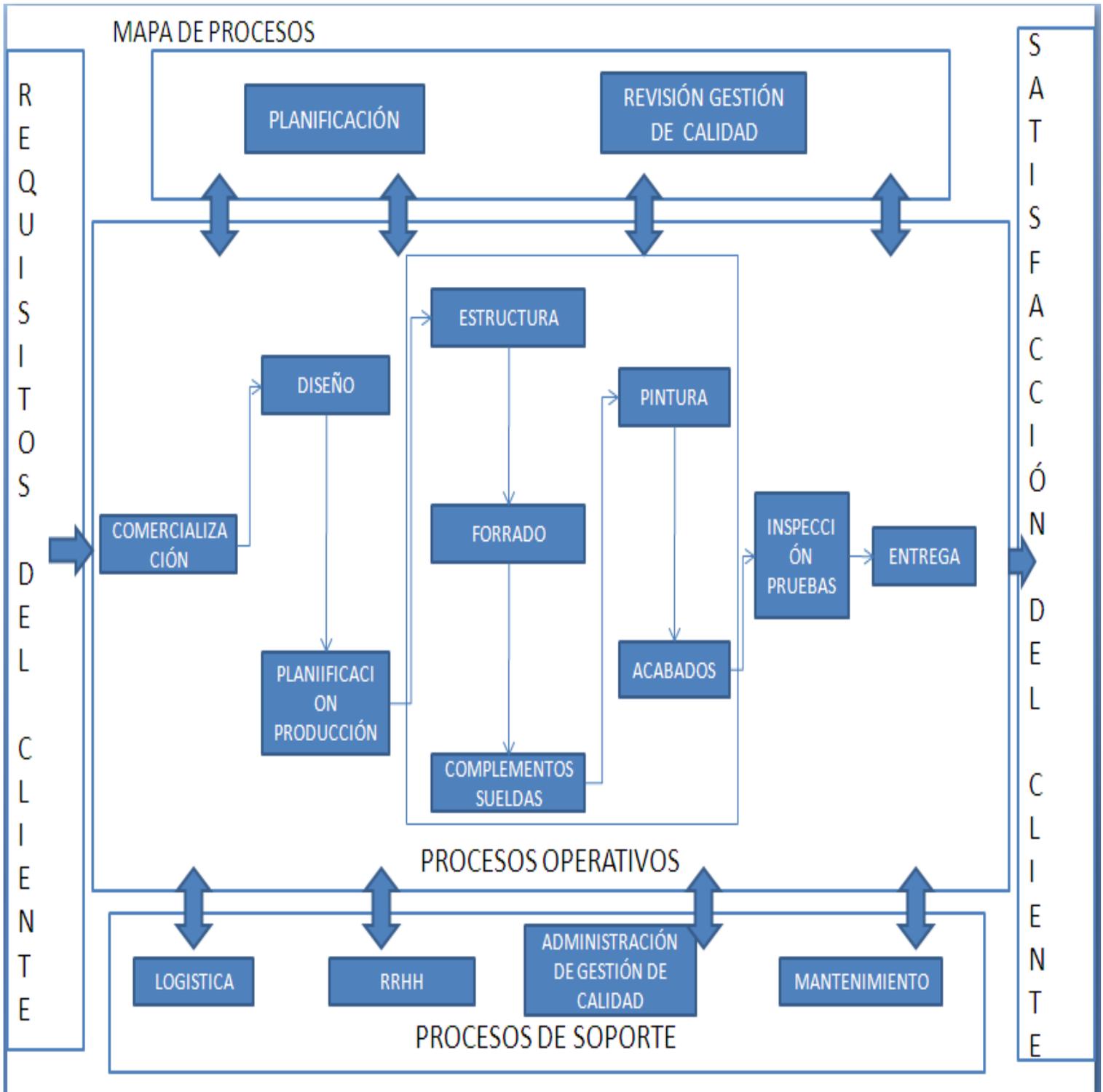
- b.2.1) Máximo el 66 % de la distancia entre ejes.

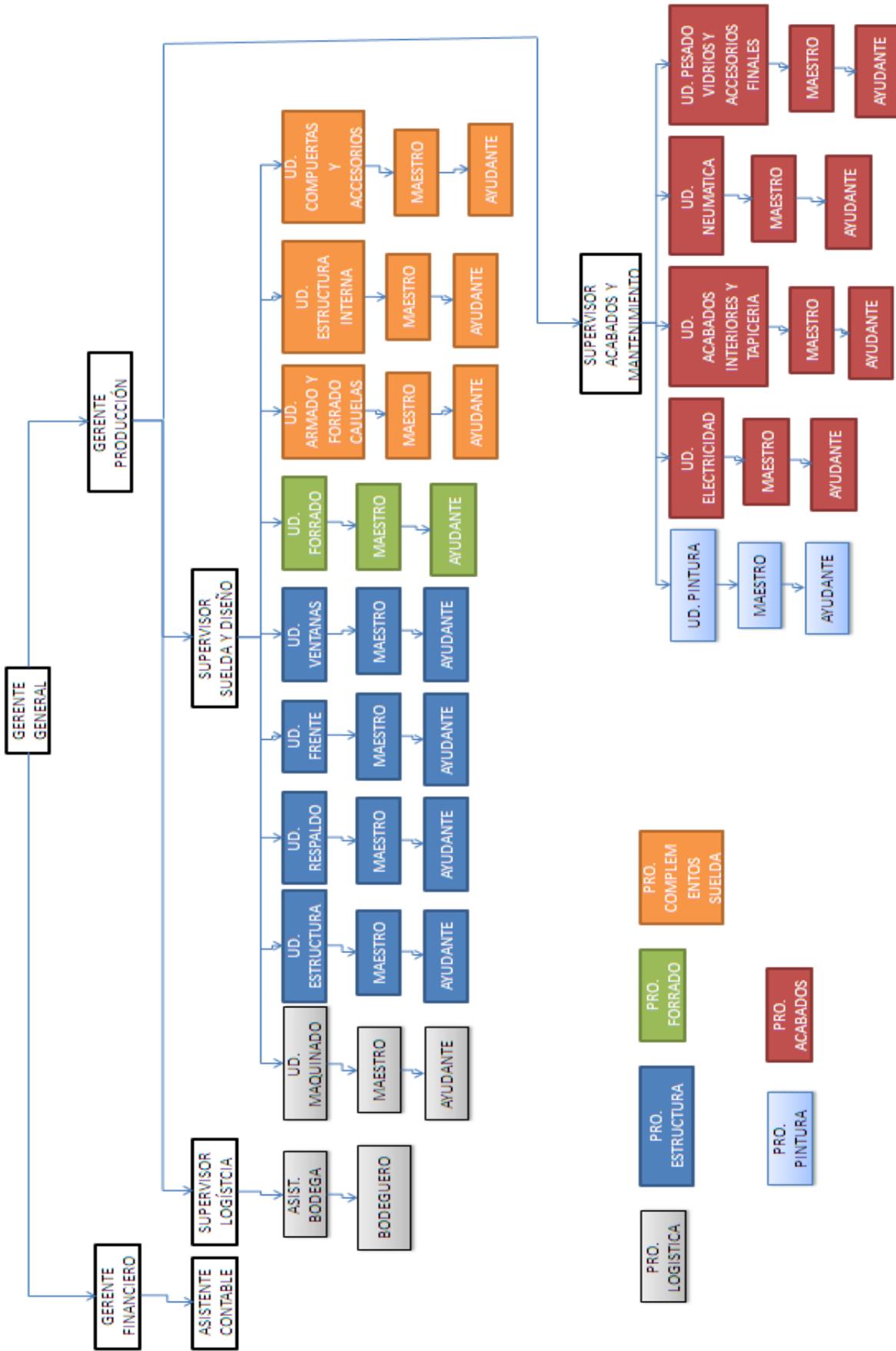
NOTA 2. Las ventanas, puertas, parabrisas y otros elementos compuestos por vidrios deben usar vidrios de seguridad automotriz, que cumplan con los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 669 vigentes.

- c) *Ángulos de acometida:* Entre 8° y 12°.
- d) *Ventanas del conductor* (ver nota 1)
- d.1) Con posibilidad de observar la parte baja en el exterior lateral izquierdo.]
  - d.2) La ventana debe abrirse por lo menos en un 30% de su ancho.
  - d.3) *Visibilidad del conductor.* El puesto del conductor debe tener las siguientes zonas de visibilidad:
    - i) Zona de visibilidad frontal superior: Debe permitir identificar un objeto situado a 15 m delante del vehículo y a 4,5 m del suelo (ver figura A.1).
    - ii) Zona de visibilidad frontal inferior: debe permitir identificar un objeto situado a 0,7 m delante del vehículo y a 1,1 m del suelo (ver figura A.2)
    - iii) Zona de visibilidad lateral izquierda. Debe permitir identificar un objeto situado a 0,7 m al lado izquierdo del vehículo y a 0,2 m del suelo (ver figura A.3).
    - iv) Zona de visibilidad horizontal. De acuerdo con la figura A.4.
    - v) La totalidad de la zona de visibilidad (campo visual) del parabrisas y la zona comprendida en la vista secundaria debe estar libre de todo obstáculo que impida la visibilidad del conductor.
    - vi) Zona de visibilidad lateral derecho. Debe permitir identificar un objeto situado 0,7 m al lado derecho del vehículo y a 0,2 m del suelo (ver figura A.3).
  - d.4) *Ventanas de los usuarios.* Pueden ser individuales o dobles (panorámicas), fijas o corredizas; la parte corrediza tendrá una manilla o tirador y será entre el 30% y el 60% del área total de la ventana, deslizante y con cierre hermético. Todos los vidrios de las ventanas deben ser de seguridad para uso automotriz, con un espesor mínimo de 4 mm y que cumplan los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 069 vigente.
  - d.5) Todas las ventanas de los buses interprovinciales deben estar provistas de cortinas o de otro dispositivo de protección solar.
- e) *Puerta de ingreso y salida*
- e.1) La (s) puerta (s) debe (n) ser abatibles hacia el interior o exterior, sin llegar a sobresalir en más de 300 mm de la carrocería.
  - e.2) El acceso a las puertas debe ser libre y no estar bloqueadas por asientos ni asideros intermedios.
  - e.3) Cuando el vehículo este en movimiento la puerta no podrá ser abierta desde el interior del vehículo. En situaciones de emergencia la puerta será fácilmente abierta manualmente desde el exterior o el interior del vehículo.
  - e.4) *Dimensiones*
    - e.4.1) Altura mínima, medida desde el estribo: 2 000 mm
    - e.4.2) Ancho libre mínimo: 850 mm

# ANEXO C

Diagrama de Procesos en la empresa



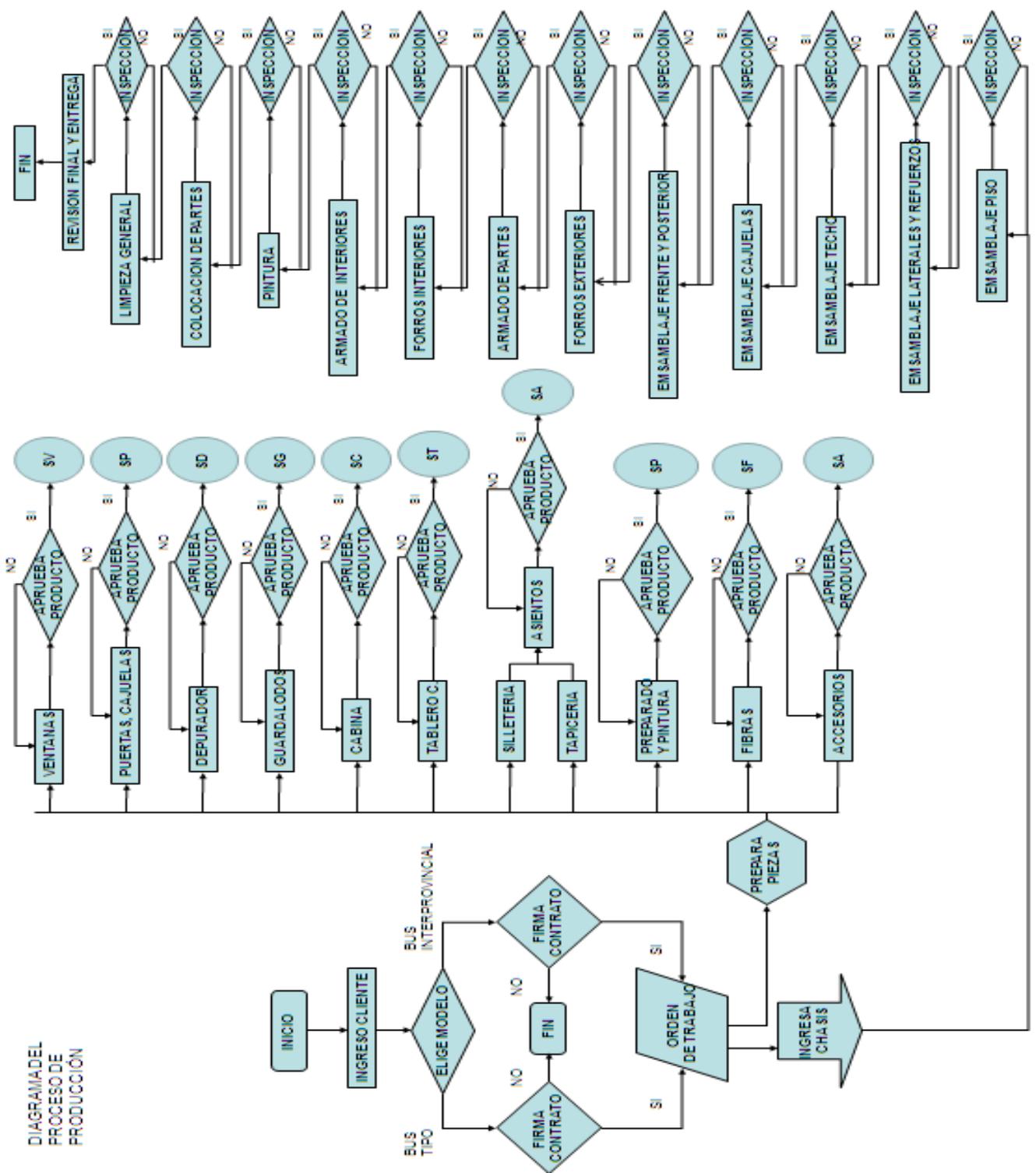


ORGANIGRAMA CARROCERIAS  
PATRICIO CEPEDA

# ANEXO D

Diagrama de operaciones en la empresa 1

DIAGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCION



GALPON 1				
Proceso	fecha de inicio	fecha final	# de Trab.	total horas
1.-Preparacion de patas	27/07/2009	28/07/2009	2	16
2.- Tendido de piso	29/07/2009	30/07/2009	2	16
3.- Estructura	31/07/2009	03/08/2009	2	11
4.- Forrado	03/08/2009	07/08/2009	6	40
5.-Respaldo	03/08/2009	12/08/2009	2	64
6.-Frente	31/07/2009	12/08/2009	2	72
<b>7.- COMPLEMENTO SUELDA</b>				
7.1.-Compuertas	03/08/2009	12/08/2009	4	64
7.2.- Accesorios	05/08/2009	13/08/2009	2	56
8.- Cabina	06/08/2009	11/08/2009	2	32
9.- Entablado	07/08/2009	11/08/2009	2	24
10.-Estribo	04/08/2009	05/08/2009	2	16
11.- Forrado de cajuelas	04/08/2009	12/08/2009	2	56

GALPON 2

Proceso	fecha de inicio	fecha final	# de Trab.	total horas
<b>1.- PINTURA</b>				
1.1.-Preparacion	13/08/2009	14/08/2009	4	16
1.2.-Fondeado	15/08/2009	17/08/2009	4	16
1.3.-Pegado de cauchos	17/08/2009	17/08/2008	4	2
1.4.-Proceso de pintura	17/08/2009	18/08/2009	4	22
<b>2.-ACABADOS</b>				
2.1.-Tapizado	19/08/2009	26/08/2009	1	48
2.2.-Neumatica	19/08/2009	28/08/2009	2	62
2.3.-Inst. Electricas	19/08/2009	28/08/2009	4	62
2.4.-Acabados	19/08/2009	26/08/2009	2	48
2.5.-Pegado de vidrios	19/08/2008	25/08/2009	1	40
2.6.-Ventanas	21/08/2009	24/08/2009	2	16
2.7.-Empacado compuertas	26/08/2009	26/08/2009	2	5
2.8.-Armado del frente	26/08/2009	26/08/2009	1	5

# ANEXO E

Material empleado en la construcción de la estructura

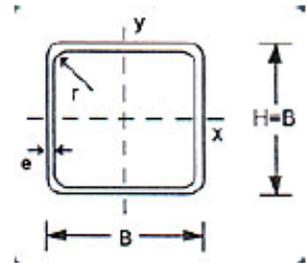
Propiedades mecánicas.

• TUBERIA ESTRUCTURAL:

**TUBERIA ESTRUCTURAL CUADRADA**

Tolerancias dimensionales ASTM A 500 grado C

Calidades del acero ASTM A572 grado 50



Perfiles de Sección Cuadrada mm	Dimensiones (mm)				Area cm <sup>2</sup>	Peso Kg/m	Momento Respecto a los Ejes		
	h	b	e	r			I cm <sup>4</sup>	S cm <sup>3</sup>	R cm
	60 x 60	60.00	60.00	2.25			3.38	5.02	3.98
70 x 70	70.00	70.00	2.25	3.38	2.92	4.65	44.60	12.74	2.75
90 x 90	90.00	90.00	2.50	3.75	8.54	6.70	107.46	23.88	3.55
100 x 100	100.00	100.00	3.00	4.50	11.33	8.89	175.10	35.02	3.94
110 x 110	110.00	110.00	3.40	5.10	14.10	11.07	263.04	47.82	4.33
120 x 120	120.00	120.00	4.00	6.00	18.01	14.14	397.30	66.22	4.74
135 x 135	135.00	135.00	4.30	6.45	21.85	17.15	612.27	90.71	5.28
155 x 155	155.00	155.00	4.50	6.75	26.39	20.72	982.43	126.77	6.10
175 x 175	175.00	175.00	5.50	8.25	36.25	28.46	1709.23	195.34	6.87
200 x 200	200.00	200.00	5.50	8.25	41.75	32.77	2597.67	259.77	7.89
200 x 200	200.00	200.00	7.00	10.50	52.36	41.10	3194.10	319.41	7.81
220 x 220	220.00	220.00	7.00	10.50	57.96	45.50	4314.30	392.21	8.63
220 x 220	220.00	220.00	9.00	13.50	73.18	57.45	5317.27	483.39	8.52
260 x 260	260.00	260.00	9.00	16.50	87.58	68.75	9.038.52	695.27	10.16
260 x 260	260.00	260.00	11.00	16.50	105.41	82.74	10.656.87	819.76	10.06



**PTR**

## PERFIL ESTRUCTURAL RECTANGULAR

Dimensiones y propiedades del perfil PTR (Tabla 1)

DIMENSIONES EXTERIORES D x B	ESPESOR t		COLOR DE IDENTIFICACIÓN		PESO kg/m	ÁREA cm <sup>2</sup>	MOMENTO DE INERCIA		MÓDULO DE SECCIÓN		RADIO DE GIRO	
	pulg./mm.	pulg. mm	México	USA			I <sub>xx</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>yy</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>xx</sub> cm <sup>3</sup>	S <sub>yy</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>xx</sub> cm	r <sub>yy</sub> cm
1" x 1" 25 x 25	0.060	1.5	AZUL		1.18	1.40	1.34	1.34	1.06	1.06	0.978	0.978
	0.075	1.9	BLANCO		1.40	1.79	1.66	1.66	1.26	1.26	0.96	0.96
	0.095	2.4	VERDE		1.62	2.07	1.75	1.75	1.38	1.38	0.92	0.92
	0.133	3.04		ROJO	1.98	2.471	2	2	1.51	1.51	0.89	0.89
	0.120	3.4	ROJO	ROJO	2.10	2.68	2.01	2.01	1.58	1.58	0.87	0.87
1 1/2" x 1 1/2" 38 x 38	0.075	1.9	AZUL		2.11	2.65	5.83	5.83	3.00	3.00	1.48	1.48
	0.110	2.8	BLANCO		2.95	3.74	7.56	7.56	3.96	3.96	1.42	1.42
	0.120	3.04		ROJO	3.176	4.026	7.99	7.99	4.19	4.19	1.41	1.41
	0.125	3.2	VERDE		3.29	4.17	8.21	8.21	4.30	4.30	1.40	1.40
	0.154	4.0	ROJO	ROJO	3.91	4.95	9.24	9.24	4.85	4.85	1.36	1.36
2" x 2" 51 x 51	0.060	1.5	CELESTE		2.44	2.91	11.80	11.80	4.64	4.64	2.01	2.01
	0.075	1.9	AZUL		2.85	3.58	14.34	14.34	5.65	5.65	2.00	2.00
	0.110	2.8	BLANCO		4.00	5.11	19.04	19.04	7.49	7.49	1.93	1.93
	0.120	3.04		ROJO	4.36	5.56	20.61	20.61	8.11	8.11	1.923	1.923
	0.125	3.2	VERDE		4.54	5.79	21.40	21.40	8.42	8.42	1.92	1.92
2 1/2" x 2 1/2" 64 x 64	0.156	4.0	ROJO		5.45	6.97	24.70	24.70	9.72	9.72	1.88	1.88
	0.188	4.8		AZUL	6.91	8.79	31.37	31.37	12.35	12.35	1.88	1.88
	0.250	6.4		AMARILLO	8.04	11.29	37.93	37.93	14.93	14.93	3.36	3.36
	0.060	1.5	CELESTE		2.89	3.65	23.57	23.57	7.39	7.39	2.53	2.53
	0.075	1.9	AZUL		3.58	4.57	28.62	28.62	9.01	9.01	2.519	2.519
3" x 3" 76 x 76	0.120	3.0		ROJO	5.61	7.11	42.52	42.52	13.38	13.38	2.447	2.447
	0.125	3.2	BLANCO		5.84	7.40	44.07	44.07	13.88	13.88	2.44	2.44
	0.141	3.6	VERDE		6.47	8.26	48.30	48.30	15.20	15.20	2.42	2.42
	0.188	4.8	ROJO		8.32	10.60	59.10	59.10	18.70	18.70	2.36	2.36
	0.188	4.8		AZUL	8.32	10.60	59.10	59.10	17.87	17.87	2.36	2.36
3 1/2" x 3 1/2" 89 x 89	0.250	6.4		AMARILLO	11.09	12.13	40.33	40.33	15.12	15.12	1.794	1.794
	0.120	3		ROJO	7.58	8.91	79.67	79.67	20.88	20.88	2.98	2.98
	0.125	3.2	BLANCO		7.12	9.01	78.93	78.93	20.71	20.71	2.95	2.95
	0.156	4.0	VERDE		8.62	11.00	93.70	93.70	24.60	24.60	2.92	2.92
	0.188	4.8	ROJO		10.20	13.00	108.00	108.00	28.30	28.30	2.90	2.90
3 1/2" x 3 1/2" 89 x 89	0.188	4.8		AZUL	10.20	13.00	108.00	108.00	28.30	28.30	2.90	2.90
	0.250	6.4		AMARILLO	13.64	17.38	144.42	144.42	37.84	37.84	3.878	3.88
	0.125	3.2	BLANCO		8.39	10.62	128.53	128.53	28.91	28.91	3.47	3.47
	0.156	4.0	VERDE		10.20	13.00	154.00	154.00	34.60	34.60	3.45	3.45
	0.188	4.8	ROJO		12.10	15.40	179.00	179.00	40.10	40.10	3.40	3.40
4" x 2" 102 x 51	0.250	6.4	AZUL		15.60	19.90	220.00	220.00	49.50	49.50	3.33	3.33
	0.125	3.2	BLANCO		5.84	7.40	57.41	30.53	15.07	12.02	2.78	2.03
	0.141	3.6	VERDE		6.47	8.26	63.30	33.40	16.60	13.20	2.77	2.01
	0.188	4.8	ROJO		8.32	10.60	77.40	40.70	20.30	16.00	2.69	1.96
	0.125	3.2	BLANCO		7.12	9.01	117.34	39.69	23.09	15.62	3.60	2.09
4" x 3" 102 x 76	0.156	4.0	VERDE		8.62	11.00	139.00	46.60	27.50	18.40	3.56	2.07
	0.188	4.8	ROJO		10.20	13.00	161.00	53.70	31.80	21.10	3.51	2.03
	0.125	3.2	BLANCO		8.39	10.62	156.41	100.45	30.79	26.36	3.93	3.07
	0.156	4.0	VERDE		10.20	13.00	187.00	120.00	36.90	31.65	3.81	3.05
	0.188	4.8	ROJO		12.10	15.40	218.00	139.00	42.90	36.50	3.76	3.00
0.250	6.4	AZUL		15.60	19.90	269.00	171.00	52.90	44.80	3.67	2.93	

NOTA: Se considera una longitud por tramo de 6.00 M., Calidad comercial garantizada únicamente 2,000 kg./Cm.2 de esfuerzo de fluencia, Acero 1010 y alta resistencia Acero x42.



# tubos

Los Tubos Aceros Arequipa son los únicos que poseen un acabado perfecto, limpio de rebordes. No tienen abolladuras en los extremos, lo que permite aprovechar todo el tubo.

Contamos con una gama completa de medidas y acabados para todos los usos. Se abastecen largos especiales a pedido.

## Tubo LAC A500



designación nominal		dimensión exterior (mm)	espesores (mm)							
			1.8	2	2.3	2.5	3	3.3	4	
REDONDO	1/2"	21.3	0.856	0.952		1.119				
	3/4"	26.7	1.104	1.218		1.452				
	1"	33.4	1.403	1.549		1.909	2.249			
	1 1/4"	42.2	1.793	1.963		2.440	2.900			
	1 1/2"	48.3	2.064	2.264	2.609	2.824	3.391	3.662		
	2"	60.3	2.597	2.876		3.564	4.239			
	2 1/2"	73.0		3.502		4.347	5.179			
	3"	88.9		4.265		5.327	6.395			
	4"	114.3		5.939		6.892	8.234	9.034		
	CUAD.	4"	101.6							

### NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la Norma ASTM A500.

### DESCRIPCIÓN:

Tubo para estructura fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación pueden ser redondas y cuadradas.

### PRESENTACIÓN:

Longitud

Tubos Redondos : 6.40 m.  
Tubos Cuadrados y Rectangulares : 6 m.  
Otras longitudes a pedido.

Acabado de extremos : Refrentado (plano), limpio de rebordes.  
Recubrimiento : Negro.  
Galvanizado (solo tubo redondo).

### USOS:

Estructuras livianas diversas, tijerales, postes, etc.

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Redondo:

Resistencia a la Tracción = 310 Mín. Mpa

Límite de Fluencia = 228 Mín. Mpa

Cuadrado y Rectangular:

Resistencia a la Tracción = 310 Mín. Mpa

Límite de Fluencia = 269 Mín. Mpa

## Tubo ASTM A53



designación	díametro exterior (mm)	espesor SCH 40 (mm)	peso SCH 40 (kg/m)
1/8"	10.3	1.73	0.370
1/4"	13.7	2.24	0.630
3/8"	17.1	2.31	0.840
1/2"	21.3	2.77	1.270
3/4"	26.7	2.87	1.690
1"	33.4	3.38	2.500
1 1/4"	42.2	3.56	3.380
1 1/2"	48.3	3.68	4.050
2"	60.3	3.91	5.440
2 1/2"	73.0	5.16	8.630
3"	88.9	5.49	11.290
3 1/2"	101.6	5.74	13.570
4"	114.3	6.02	16.070
5"	141.3	6.55	21.770
6"	168.3	7.11	28.280

### DESCRIPCIÓN:

Tubos para alta presión (SCH 40) fabricados con acero al carbono de calidad estructural, utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

### NORMA TÉCNICA DE FABRICACIÓN:

Según Norma ASTM A53

Comprende dos tipos (grados)

Grado A: Schedule 10  
Schedule 20  
Schedule 30  
Schedule 40

Grado B (Tratamiento Térmico): Schedule 40

### USOS:

Conducción para alta presión de agua, gas, vapor, petróleo, aire presurizado y fluidos no corrosivos.

### PRESENTACIÓN:

Longitud : 6.40 m (21').  
Otras longitudes a pedido.

### Acabado de extremos

: Refrentado (plano), limpio de rebordes.  
Biselado.  
Roscado (según Norma ANSI B1.20.1).  
Ranura tipo Victaulic.

### Recubrimiento

: Negro.  
Galvanizado (Según ASTM A53).  
Pintado.  
Aceitado.  
Desengrasado.  
Bajo Pedido.

### Acabado Interno : Escariado.

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Grado A:

Resistencia a la Tracción = 330 Mín. Mpa

Límite de Fluencia = 205 Mín. Mpa

Grado B:

Resistencia a la Tracción = 415 Mín. Mpa

Límite de Fluencia = 240 Mín. Mpa

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Espesor mínimo : -1.25 % del valor nominal

Peso : + / - 1.0 % del valor nominal

Díametro : + / - 1 % del valor nominal

**Latacunga, Julio del 2012**

**AUTORES:**

-----  
Andrade García Luis Eduardo  
0503280745

-----  
Méndez Canchig Pablo Xavier  
1720086238

**DIRECTOR DE CARRERA:**

-----  
Ing. Juan Castro

**UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO**

-----  
Dr. Rodrigo Vaca Corrales.