



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA RÍGIDA PARA MONTAJE EN UN CHASIS CAMA BAJA PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS”**

**AGUALONGO AMANGANDI WILSON GABRIEL  
GUSQUI UDEO DANNY FABRICIO**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-05-05

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparada por:

**AGUALONGO AMANGANDI WILSON GABRIEL  
GUSQUI UDEO DANNY FABRICIO**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA RÍGIDA PARA MONTAJE EN  
UN CHASIS CAMA BAJA PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Luis Santiago Choto Chariguaman.  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** WILSON GABRIEL AGUALONGO A.

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA RÍGIDA PARA MONTAJE EN UN CHASIS CAMA BAJA PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS”

**Fecha de Examinación:** 2017-01-11

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Luis Santiago Choto Chariguaman <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** DANNY FABRICIO GUSQUI UDEO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA RÍGIDA PARA MONTAJE EN UN CHASIS CAMA BAJA PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS”

**Fecha de Examinación:** 2017-01-11

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Luis Santiago Choto Chariguaman. <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Wilson Gabriel Agualongo A.**

---

**Danny Fabricio Gusqui U.**

## **DEDICATORIA**

Desde el fondo de mi corazón quiero dedicar este trabajo de titulación a Dios, a mi familia y en especial a mis padres Jorge Agualongo Chela y Rosa A. Amangandi Tamami, quienes me apoyaron incondicionalmente día a día, para culminar mi carrera profesional, pues sin ellos no hubiese sido posible que hoy estuviese escribiendo esta humilde dedicatoria, ya que han estado presentes en cada momento de este gigantesco paso, en el que hoy por fin he visto cristalizado la meta de mis sueños.

**Wilson Gabriel Agualongo Amangandi**

Este trabajo realizado quiero dedicar a todas las personas quienes siempre me apoyaron de una u otra forma en especial a mis padres Oswaldo Gusqui y Genoveva Udeo a mis hermanos por ser un pilar fundamental en cada paso que doy en mi vida, a mi esposa por su apoyo incondicional, a mis profesores que han sabido guiarme adecuadamente para culminar con éxito este trabajo de titulación.

**Danny Fabricio Gusqui Udeo**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por darme salud y vida, sin duda son elementos esenciales para cumplir cualquier objetivo anhelado. A la ESPOCH por darme el privilegio de formar parte de sus aulas de estudio y formarme como un profesional. A mi director Ing. Edwin Pozo y asesor del proyecto de titulación, Ing. Santiago Choto por la paciencia, tiempo, conocimientos y experiencias que me han compartido, logrando en mí que pueda terminar mi carrera universitaria con éxito.

A mi familia, en especial mis padres Jorge Agualongo Chela y Rosa A. Amangandi Tamami, gracias a su esfuerzo, sacrificio y dedicación hacia sus hijos han logrado en mí que yo pueda finalizar mi carrera como INGENIERO AUTOMOTRIZ.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

**Wilson Gabriel Agualongo Amangandi**

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la oportunidad de vivir, a mis padres por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y particularmente a la Escuela de Ingeniería Automotriz por abrirme las puertas para poder obtener el título universitario y así poder servir de manera profesional a la sociedad.

Para todos los docentes que se cruzaron en mi formación durante esta etapa, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para terminar con éxito este escalón de mi vida.

**Danny Fabricio Gusqui Udeo**

## CONTENIDO

	Pag.	
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.2.1	<i>Justificación técnica.</i> .....	2
1.2.2	<i>Justificación Económica</i> .....	2
1.2.3	<i>Justificación Social.</i> .....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i> .....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos:</i> .....	2
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Situación actual en el sector carrocerero. ....	4
2.2	Marcas de chasis utilizados para construcción de carrocerías.....	5
2.2.1	<i>Chasis utilizado en los cinco primeros meses del año 2016.</i> .....	6
2.2.2	<i>Total, de chasis utilizados desde enero hasta mayo del año 2016.</i> .....	7
2.2.3	<i>Detalle de las importaciones desde el año 2013 al 2015.</i> .....	8
2.3	Tipos de chasis entrada baja. ....	8
2.4	Generalidades del diseño. ....	11
2.4.1	<i>Etapas de diseño.</i> .....	11
2.4.2	<i>Directrices para el diseño de la estructura del chasis.</i> .....	12
2.4.3	<i>Parámetros a obtener en el diseño.</i> .....	12
2.5	Materiales utilizados para la fabricación de estructuras.....	13
2.5.1	<i>Acero estructural.</i> .....	13
2.5.2	<i>Ventajas del Acero estructural.</i> .....	14
2.5.3	<i>Desventajas del Acero estructural.</i> .....	14
2.5.4	<i>Acero ASTM A36.</i> .....	15
2.5.5	<i>Acero SAPH440.</i> .....	15
2.5.6	<i>Acero FeE420.</i> .....	15
2.6	Perfiles.....	16
2.6.1	<i>Perfiles utilizados en la construcción de bastidores.</i> .....	16
2.6.2	Aplicaciones del perfil estructural en U .....	17
2.6.3	Aplicaciones del tubo estructural cuadrado.....	17
2.6.4	Aplicaciones del tubo estructural rectangular.....	18
2.7	Uniones de elementos estructurales.....	19
2.7.1	<i>Uniones mecánicas.</i> .....	19
2.7.2	<i>Tipos de pernos.</i> .....	22
2.7.3	<i>Uniones soldadas.</i> .....	24
2.7.4	<i>Uniones Adhesivas.</i> .....	28
2.7.5	<i>Uniones Híbridas con Tornillos y Soldadura.</i> .....	31
2.8	Determinación de cargas en el diseño. ....	34
2.8.1	<i>Casos de Cargas.</i> .....	36
2.9	Técnicas Computacionales. ....	37
2.9.1	<i>Proceso para el análisis por MEF (método del elemento finito).</i> .....	37
2.9.2	<i>Cálculo y resolución de sistemas de ecuaciones.</i> .....	39
2.9.3	<i>Métodos de análisis.</i> .....	39
2.9.4	<i>Software de diseño y análisis por elementos finitos.</i> .....	40

<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DEL DISEÑO</b>	
3.1	Normas INEN a utilizar. ....	41
3.2	Características dimensionales del chasis SCANIA K360. ....	42
3.3	Condiciones de Carga. ....	43
3.3.1	<i>Cálculo de cargas de diseño según la norma.</i> ....	44
3.3.1.1	<i>Cargas Vivas</i> (NTE INEN 1323, 2009). ....	44
3.3.1.2	<i>Carga de Giro (G)</i> (NTE INEN 1323, 2009). ....	47
3.3.1.3	<i>Carga de Frenado (F)</i> (NTE INEN 1323, 2009). ....	49
3.3.1.4	<i>Carga de Aceleración Brusca (Ab)</i> (NTE INEN 1323, 2009). ....	51
3.3.1.5	<i>Carga por Resistencia del Aire Frontal</i> (NTE INEN 1323, 2009). ....	51
3.3.2	<i>Estados de Combinaciones de Cargas.</i> ....	52
3.3.2.1	<i>Carga Muerta</i> (NTE INEN 1323, 2009). ....	52
3.4	Estructuración de la fase de diseño. ....	53
3.5	Casa de la calidad. ....	53
3.5.1	QFD (Función de la calidad) ....	53
3.5.1.1	<i>Paso 1 y 2 (Voz del Usuario)</i> ....	54
3.5.1.2	<i>Paso 3,4 y 5 (Voz del Ingeniero).</i> ....	54
3.5.1.3	<i>Conclusión de la matriz QFD.</i> ....	56
3.5.1.4	<i>Especificaciones Técnicas de la estructura rígida</i> ....	56
3.6	Características de los componentes para el diseño. ....	57
3.6.1	Material a utilizar en la construcción de la estructura rígida. ....	58
3.6.2	Perfiles para la estructura rígida. ....	58
3.6.3	Tipo de unión de la estructura rígida. ....	59
3.6.4	Sujetadores para la estructura rígida en el chasis. ....	60
<b>4</b>	<b>DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA RÍGIDA</b>	
4.1	Análisis de esfuerzos en la estructura rígida diseñada. ....	65
4.2	Calculo de soldadura. ....	76
4.3	Análisis del diseño de la estructura rígida. ....	77
4.3.1	<i>Resultados de los Análisis de Esfuerzos.</i> ....	81
<b>5</b>	<b>MANUFACTURA Y COSTOS</b>	
5.1	Costos ....	88
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1.	Conclusiones. ....	90
6.2	Recomendaciones. ....	90

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## PLANOS

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Distribución de las empresas carroceras en el país.....	4
Tabla 2. Chasis utilizados por marca y modelo.....	6
Tabla 3. Chasis más utilizado en los primeros cinco meses del año 2016.....	6
Tabla 4. Dimensiones del chasis Mercedes Benz O 500 U 1726.....	10
Tabla 5. Dimensiones del chasis Scania K 360.....	11
Tabla 6. Límite elástico del acero.....	14
Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	15
Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero SAPH440.....	15
Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero FeE420.....	16
Tabla 10 Características del perfil estructural en U.....	17
Tabla 11 características del tubo estructural cuadrado.....	18
Tabla 12 características del tubo estructural rectangular.....	18
Tabla 13. Pernos SAE (Society of Automotive Engineers).....	23
Tabla 14. Pernos ASTM (American Society for Testing and Materials).....	23
Tabla 15. Pernos DIN (Deutsches Institut fur Normung).....	24
Tabla 16. Detalle de cargas vivas en los trasportes de pasajeros.....	35
Tabla 17. Tipos de malla.....	39
Tabla 18. Características Dimensionales.....	42
Tabla 19. Características Dimensionales de los Asientos.....	44
Tabla 20. Capacidad de Pasajeros.....	45
Tabla 21. Cargas Vivas de Bodegas.....	46
Tabla 22: Cargas de Equipaje.....	46
Tabla 23. Capacidades Técnicas.....	47
Tabla 24. Velocidades, Radios Mínimos y Perales en Carretera.....	48
Tabla 25. Condiciones de los frenos de los vehículos de las categorías M y N.....	50
Tabla 26. Especificaciones Técnicas de la estructura rígida.....	56
Tabla 27. Largo Total del Vehículo.....	57
Tabla 28. Altura Total Máxima.....	57
Tabla 29. Voladizo delantero y Posterior.....	58
Tabla 30. Grado Métrico de Aceros para Pernos.....	61
Tabla 31. Dimensiones de Roscas Estándar American.....	62

Tabla 32. Características del Perno M 16x2. ....	63
Tabla 33. Análisis y resultados de materiales usados para los tres tipos de diseños. ....	64
Tabla 34. Factor de Seguridad. ....	65
Tabla 35. Resultados Analíticos y MEF de la Viga Lateral. ....	71
Tabla 36. Resultados Analíticos y MEF de la Placa Frontal. ....	75
Tabla 37. Simbología de manufactura ....	87
Tabla 38. Costos de Materia Prima.....	88
Tabla 39. Costos de Mecanizado o Maquinado. ....	88
Tabla 40. Costo Directo en la fabricación de la estructura rígida.....	89
Tabla 41. Costo indirecto de la estructura rígida ....	89
Tabla 42. Costo total de la estructura rígida ....	89

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las empresas carroceras en el país. ....	5
Figura 2. Chasis más utilizado en los primeros cinco meses del año 2016. ....	7
Figura 3. Total, de chasis utilizados por meses en el año 2016.....	7
Figura 4. Chasis Agrale MT15.0LE.....	8
Figura 5. Chasis VOLVO B7RLE. ....	9
Figura 6. Chasis Mercedes Benz O 500 U 1726.....	9
Figura 7. Chasis Scania K 360 Piso Bajo. ....	10
Figura 8. C 250x80x8.      Figura 9. C 200x80x6.      Figura 10. C 50x25x2. ....	16
Figura 11. Tubo Cuadrado: 50x50x3.      Figura 12. Tubo Rectangular: 100x50x3....	16
Figura 13. Tipos de uniones.....	19
Figura 14. Tornillo de alta resistencia. ....	20
Figura 15. Esquema general unión atornillada trabajando a cortadura.....	21
Figura 16. Dimensiones fundamentales de unión atornillada. ....	21
Figura 17. Pernos de Acero.....	22
Figura 18. Pernos Estructurales A325. ....	23
Figura 19. Soldaduras a Tope Típicas. ....	25
Figura 20. Unión Solapada. ....	26
Figura 21. Cordón de Soldadura en Ángulo. ....	26
Figura 22. Unión de Borde. ....	27

Figura 23. Soldadura de Recargue.....	27
Figura 24. Soldadura de Ranura.....	28
Figura 25. Estados de Tensión en una Unión con Adhesivos.....	30
Figura 26. Diagrama de Fuerzas Transmitidas.....	32
Figura 27. Unión Híbrida.....	33
Figura 28. Disposición de Unión Híbrida.....	34
Figura 29. Caso de flexión.....	36
Figura 30. Caso de torsión.....	36
Figura 31. Carga lateral en un vehículo.....	37
Figura 32. Proceso para el análisis por M.E.F.....	38
Figura 33. Proceso de mallado.....	38
Figura 34. Dimensiones – Vista Derecha.....	43
Figura 35. Dimensiones – Vista Superior.....	43
Figura 36. Dimensiones de la estructura rígida.....	47
Figura 37. Ángulo del Peralte.....	48
Figura 38. Matriz QFD.....	55
Figura 39. Tipos de Uniones en la Estructura Rígida.....	60
Figura 40. Estructura rígida.....	64
Figura 41. Carga distribuida en la Viga.....	66
Figura 42. Carga Concentrada Puntual en la Viga.....	66
Figura 43. Diagrama Distancia vs Fuerza Cortante.....	67
Figura 44. Diagrama Distancia Vs Momento Flector.....	68
Figura 45. Esfuerzo de Cortante Máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ). 1.....	69
Figura 46. Esfuerzo de Cortante Máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ). 2.....	70
Figura 47. Esfuerzo de Flexión Máximo $\sigma_{m\acute{a}x}$ .....	70
Figura 48. Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ( $Y_{m\acute{a}x}$ ).....	70
Figura 49. Dimensiones Placa Frontal.....	71
Figura 50. Placa Frontal.....	72
Figura 51. Deformación Total.....	74
Figura 52. Deformación Direccional.....	74
Figura 53. Esfuerzo Normal ( $\sigma_{Normal}$ ).....	75
Figura 54. Soldadura de Filete.....	76
Figura 55. Pantalla Workbench – Static Structural.....	77
Figura 56. Engineering Data.....	78

Figura 57. Pantalla Workbench – Geometry. ....	78
Figura 58. Static Structural – DesignModeler. ....	79
Figura 59. Fijación de la Estructura Rígida. ....	79
Figura 60. Cargas sobre la Estructura Rígida. ....	80
Figura 61. Condiciones del Material a Fatiga. ....	81
Figura 62. Deformaciones de la Estructura Rígida. ....	81
Figura 63. Esfuerzos Equivalentes de la Estructura Rígida. ....	82
Figura 64. Factor de Seguridad de Estructuras Rígida. ....	82
Figura 65. Esfuerzos Equivalentes Alternantes de la Estructura Rígida. ....	83
Figura 66. Factor de Seguridad (Fatiga) de la Estructuras Rígida. ....	83
Figura 67. Ciclos de Vida. ....	84
Figura 68. Proceso de Construcción de la estructura rígida. ....	85

## SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
F	Fuerza	N
m	Masa	Kg
At	Área para el Esfuerzo de Tensión	$mm^2$
E	Elasticidad	$N/m^2$
P	Carga Admisible	lb
Fu	Carga Última a la Tensión	Kpsi.
g	Gravedad	$\frac{m}{seg.^2}$
Vel	Velocidad	$m/seg$
$\sigma$	Esfuerzo Normal Directo	MPa
$\tau_{m\acute{a}x}$	Esfuerzo Cortante	MPa
$Y_{m\acute{a}x}$	Desplazamiento	mm
$\sigma_t$	Esfuerzo de Tensión	Mpa
$\varepsilon$	Esfuerzo Normal	$\frac{N}{m^2}$
D	Profundidad de Deformación	mm
q	Carga Distribuida	$N/m$
M	Momento Flector	$Nm$
$A_b$	Carga de Aceleración Brusca	Kg
CG	Carga de Giro	Kgf
Ff	Carga de Frenado	Kg
$\alpha_{\text{Peralte}}$	Angulo del Peralte	°
T	Torque	Nm
Rb	Reacción	N
L	Longitud de la Viga	m

## **LISTADO DE ABREVIACIONES**

INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
MEF	Método de Elementos Finitos.
RTE	Reglamento Técnico Ecuatoriano.
ASTM	American Society for Testing Materials.
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
ANT	Agencia Nacional de Tránsito
CANFAC	Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías

## **LISTA DE ANEXOS**

1. Especificaciones Técnicas
2. Distribución de Áreas
3. Capacidades Técnicas
4. Análisis del Segundo Diseño
5. Análisis del Tercer Diseño
6. Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1668
7. Reglamento Técnico Ecuatoriano. RTE INEN 043:2010
8. Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1 323:2009
- 9.-Recomendaciones de fabricante scania

## RESUMEN

Se investigó el diseño y análisis de una estructura rígida para montaje en un chasis cama baja para transporte de pasajeros. Los procedimientos que se siguieron para realizar el diseño y análisis son la selección del chasis cama baja, selección de materiales, dimensionamiento, tipos de uniones, todo esto basándose en las normas de la (ANT) Agencia Nacional de Tránsito vigentes utilizando herramientas que ayudan a determinar los requerimientos y necesidades del usuario como es la Casa de la Calidad, asegurando un producto final útil y capaz de satisfacer al usuario. Para la obtención de resultados se han utilizado software de diseño y simulación como Solidworks y Ansys que permite asignar varios tipos de parámetros que son elementales para el diseño concurrente, los resultados que se han obtenido entre los más importantes es el esfuerzo de Von Mises, factor de seguridad así como también el análisis a fatiga de cada elemento que constituye la estructura rígida que son favorables complementando con un acople de fácil montaje para su mayor versatilidad en la fabricación, Se puede deducir que mediante un acople y una estructura con materiales adecuados puede soportar las diferentes cargas combinadas con factores de seguridad aceptables. Se recomienda realizar la estructura rígida bajo los parámetros de las normas vigentes en el país en este caso por las normas (INEN) Instituto Ecuatoriano de Normalización.

**PALABRAS CLAVE:** <AGENCIA NACIONAL DE TRÁNSITO (ANT)>, <CÁMARA NACIONAL DE FABRICANTES DE CARROCERÍAS (CANFAC)>, <ESTRUCTURA RÍGIDA>, <CHASIS CAMA BAJA>, <DISEÑO CONCURRENTE>, <CASA DE LA CALIDAD>, <REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO (RTE)>, <MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS>, <SCANIA K360>.

## **ABSTRACT**

The design and analysis of a rigid structure for assembling a low-bed chassis in passenger transportation was researched. The procedures for the design and analysis are the low-bed chassis selection, materials selection, sizing, type of junctions, based on the ANT (National Transportation Agency) regulations in force, using tools which help to determine the customer's requirements and needs as the Quality House, and in this way offering a useful product for the customer's satisfaction. In order to obtain results, design and simulation software such as Solidworks and Ansys were used to assign different types of parameters which are fundamental for the present design; the most relevant results are the Von Misses effort, security factor, as well as the fatigue analysis of each element which compounds the rigid structure and are favorable when complementing with an easy-handle connector for a better adaptability in the manufacture. It can be deduced that through the connector and a structure with the appropriate materials the chassis can support different loads combined with acceptable security factors. It is recommended that the rigid structure be constructed under the regulations in force in the country in this case the INEN (Ecuadorian Institute of Normalization).

**KEY WORDS:** <NATIONAL TRANSPORTATION AGENCY (ANT)>, <BODY PARTS MANUFACTURERS NATIONAL CHAMBER (CANFAC)>, <RIGID STRUCTURE>, <LOW-BED CHASSIS>, <ASSEMBLING DESIGN>, <QUALITY HOUSE>, <ECUADORIAN TECHNICAL REGULATION (RTE)>, FINITE ELEMENTS METHOD>, <SCANIA K36

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

“El transporte ha sido a lo largo de la historia, uno de los factores más importantes, debido a la necesidad de desplazarse por distintas razones ya sean estas por obtener alimentos o simplemente por comunicarse entre personas” (Andrade, 2015).

La tecnología ingenieril en el sector carrocerero avanza en todas las áreas, creando nuevas tendencias incluyendo el estudio del chasis tipo cama baja para transporte de pasajeros. Se debe tener en cuenta que en ciertos países de Europa y de América latina ya se fabrican estructuras sobre chasis tipo cama baja brindando mayor confort y seguridad a los usuarios.

En la actualidad la industria metalmecánica del país ha ido innovando progresivamente, en el servicio de la fabricación, montaje y mantenimiento de estructuras metálicas dando como resultado nuevas fuentes de trabajo. El sector carrocerero se rige bajo normas nacionales e internacionales de diseño y fabricación como son: NTE INEN 2205, NTE INEN 1323, RTE-038, INEN 1668, RTE 043 normas internacionales como AASHTO y la comunidad de **NORMATIVAS EUROPEAS**, estas normas garantizan que la estructura metálica cumpla su finalidad. Sin embargo, ciertas empresas carroceras no cumplen con la implementación de la normativa en su proceso, obteniendo como resultado un sobre dimensionamiento, produciendo un aumento en el peso de la estructura en vacío, restringiendo la capacidad de carga al transportar, arriesgando la seguridad activa y pasiva dentro de las carreteras del país.

De acuerdo al INEC, en el Ecuador aproximadamente el 68% de habitantes utilizan transporte público, personas de la tercera edad, mujeres embarazadas, niños pequeños, etc., que necesitan un transporte cómodo y seguro.

Se debe tener presente que, con el desarrollo y crecimiento de la población ecuatoriana, de igual manera la industria automotriz va en aumento, provocando mayor necesidad del

transporte público y por ende mayor seguridad referente a la construcción de las estructuras del transporte señalado.

## **1.2 Justificación.**

### **1.2.1 *Justificación técnica.***

En el Ecuador la mayor parte del transporte público está construido sobre un chasis de carga, HINO AK8JRSA, FC, en donde su diseño fue creado para el transporte de carga y no para el transporte de pasajeros como se usa en gran parte en nuestro país. El reglamento 043 nos dice que para transporte de pasajeros se debe carrozar sobre un chasis de diseño original y cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN aplicables vigentes.

### **1.2.2 *Justificación Económica.***

En el Ecuador todavía no se fabrican chasises, por lo que se tiene la necesidad de importarlos, por lo que la intención de la investigación es el de incentivar a las partes interesadas a que se pueda dar una iniciativa para su fabricación, lo cual acarrearía un gran desarrollo para el país aportando de esta manera a la economía, así como la creación de fuentes de empleo.

### **1.2.3 *Justificación Social.***

La intención de la Investigación con la sociedad, es que se pueda contar con un transporte adecuado destinado precisamente para el transporte de pasajeros logrando mayor confort y seguridad al usuario.

## **1.3 Objetivos.**

### **1.3.1 *Objetivo general.***

“Diseño y análisis de una estructura rígida para montaje en un chasis cama baja para transporte de pasajeros.”

### **1.3.2 *Objetivos específicos:***

- Dimensionar la estructura rígida según la normativa RTE INEN 043 para la construcción de buses interprovinciales, que cumpla la capacidad de carga.
- Determinar las condiciones de carga que soporte una estructura rígida para el servicio de transporte de pasajeros.
- Realizar una comparación analítica de elementos que representen mayor tensión.
- Seleccionar los materiales, tipos de sección y sus propiedades mecánicas para el diseño.
- Simular el comportamiento estático, dinámico a fatiga de la estructura propuesta sometida a cargas mediante un software CAE.
- Analizar e interpretar los resultados de estados tensionales que cumplan la NTE-INEN – 1323.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Situación actual en el sector carrocerero.

En nuestro país el transporte público es muy importante para la ciudadanía ya que diariamente necesitan movilizarse por diferentes motivos, esto conlleva al uso diario del transporte mencionado.

El sector carrocerero realiza un aporte muy importante en la economía del país, generando activos y amplios campos de empleo. El sector metalmecánico genera 23.600 puestos de trabajos directos y 50.000 empleos indirectos, motivando a profesionales que se desarrollan en este campo a seguir innovando nuevas tendencias tecnológicas para su construcción, aumentando los estándares de calidad, dando como resultado la confiabilidad a los usuarios. (Análisis del Sector Metalmecánico, 2013)

De acuerdo al listado de las empresas fabricantes de carrocerías homologadas autorizadas por la ANT, se tiene como datos estadísticos que el 48.15% de la producción carrocerera del país, es de la ciudad de Ambato, que cumplen varios tipos de servicios.

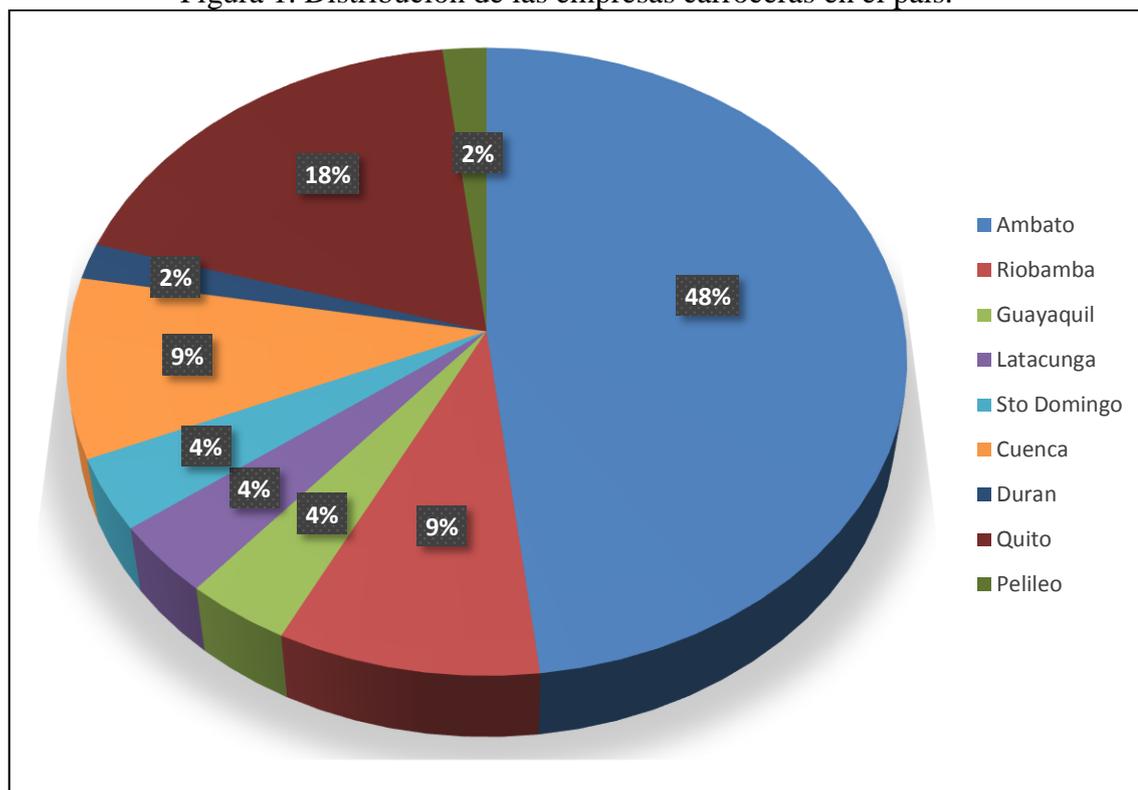
Tabla 1. Distribución de las empresas carroceras en el país.

<b>Ciudades</b>	<b>Carrocerías</b>	<b>Porcentaje</b>
Ambato	26	48.15%
Riobamba	5	9.26%
Guayaquil	2	3.70%
Latacunga	2	3.70%
Sto. Domingo	2	3.70%
Cuenca	5	9.26%
Duran	1	1.85%
Quito	10	18.52%
Pelileo	1	1.85%
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>

Elaborado por: Los Autores

Fuente: (Agencia Nacional de Transito, 2016)

Figura 1. Distribución de las empresas carroceras en el país.



Elaborado por: Los Autores  
Fuente: (Agencia Nacional de Transito, 2016)

Según (Moreta, 2015); “el sector carrocerero ecuatoriano tiene el desafío permanente de cumplir la normativa vigente en el país. Por lo que, 54 de estas empresas, dedicadas a la fabricación de buses urbanos, interprovinciales y escolares, fueron homologadas hasta junio del 2015 para la producción de las cabinas, según los datos de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y de la Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías (Canfac).”

“Esta actividad industrial funciona bajo normas INEN y procesos de calidad internacional, que brindan seguridad en el trabajo y en el transporte de pasajeros” (La Hora, 2011).

## 2.2 Marcas de chasis utilizados para construcción de carrocerías en el país del año 2016.

Según la (ANT, y otros, 2016), los chasis que son homologados por la Agencia Nacional de Tránsito para la construcción de carrocerías, para servicio de transporte de pasajeros son: Chevrolet, Hino, Internacional, Mercedes Benz, Scania y Volkswagen.

Tabla 2. Chasis utilizados por marca y modelo.

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tipo de servicio</b>
Chevrolet	LV 150	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
Hino	AK8JRSA	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
	FC9JKSZ	Para transporte de pasajeros minibús escolar, turismo, interprovincial, intrarregional e intercantonal.
Internacional	3100 MIDI	Para transporte de pasajeros minibús escolar, turismo, urbano, interprovincial, intrarregional e intraprovincial.
	4700 FE	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
Mercedes Benz	1721/59	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
	1730/59	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
Scania	K360	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
Volkswagen	10150 OD	Para transporte de pasajeros minibús escolar, turismo y urbano.
	17210 OD	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
	17230 OD	Para transporte de pasajeros en cualquier modalidad.
	9150 OD	Para transporte de pasajeros minibús escolar, turismo y urbano.

Elaborado por: Los Autores

Fuente: (Agencia Nacional de Transito, 2016)

### 2.2.1 Chasis utilizado en los cinco primeros meses del año 2016.

Como se puede observar el chasis con más frecuencia usado en los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo es el Hino, con un total máximo de 82 solo en el mes de marzo, haciendo una comparación con la utilización de los demás como; Volkswagen, Mercedes Benz y el Internacional, se puede describir que la utilización de estos chasis es muy baja.

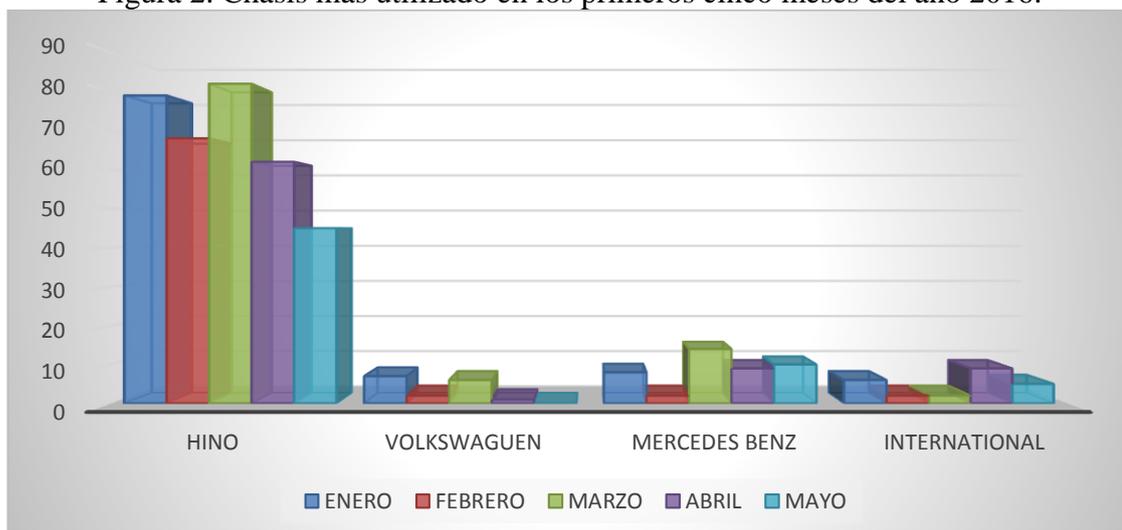
Tabla 3. Chasis más utilizado en los primeros cinco meses del año 2016.

<b>Chasis</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
Hino	79	68	82	62	45
Volkswagen	7	2	6	1	0
Mercedes Benz	8	2	14	9	10
International	6	2	2	9	5

Elaborado por: Los Autores

Fuente: (ANT, y otros, 2016)

Figura 2. Chasis más utilizado en los primeros cinco meses del año 2016.



Elaborado por: Los autores  
Fuente: (ANT, y otros, 2016)

En el país, el chasis más utilizado es el HINO AK8JRSA que son destinados para montaje de carrocerías de buses en las diferentes modalidades, el mismo que se ensambla en la ciudad de Quito en el sector de Calderón.

### 2.2.2 Total, de chasis utilizados desde enero hasta mayo del año 2016.

Según (ANT, y otros, 2016), indica que el total de chasis utilizados en el mes de marzo es de 104 chasis, disminuyendo cada mes un 24.5%, de la utilización de los chasis para construcción de carrocerías de transporte de pasajeros.

Figura 3. Total, de chasis utilizados por meses en el año 2016.



Elaborado por: Los autores  
Fuente: (ANT, y otros, 2016)

### **2.2.3 Detalle de las importaciones desde el año 2013 al 2015.**

Se puede detallar que cada vez va disminuyendo la producción de carrocerías en el país poniéndose a la par los buses importados de las empresas extranjeras.

Mediante los datos de la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana, indican que al transcurrir los años en la industria carrocera del país la producción de fabricación disminuirá progresivamente, ya que hoy en día gracias al gobierno del país y a los convenios con empresas extranjeras se tiene la facilidad de importar unidades, debido a la facilidad de pago que ofrecen las industrias carroceras extranjeras.

### **2.3 Tipos de chasis entrada baja.**

En nuestro país no contamos con chasis entrada baja por lo que estamos destinados a importar de los países vecinos. A través de la investigación se tienen los chasis tipo cama baja en las siguientes marcas: Agrale, Volvo, Mercedes Benz, Scania

#### *a) Chasis Agrale.*

Es un chasis totalmente adaptado a las necesidades del mercado. Siendo una marca líder en Brasil, estos chasis son compactos razón por la cual presentan bajo costo operacional y de adquisición, ideales para operaciones urbanas, interurbanas y/o turismo. (Agrale, 2015)

Figura 4. Chasis Agrale MT15.0LE.



Fuente: (Agrale, 2015)

a) *Chasis volvo.*

“Este tipo de chasis es de construcción robusta y fiable, se construye alrededor de una estructura de acero atornillada. La construcción del cuerpo se lo hace con estructura independiente para unir los dos cuerpos delantero y trasero” (Volvo, 2016).

Figura 5. Chasis VOLVO B7RLE.



Fuente: (Volvo, 2016)

b) *Chasis Mercedes Benz.*

Este tipo de chasis fue desarrollado para aplicaciones urbanas con un largo total de 13.2 metros, su construcción robusta y adecuado a las más severas condiciones de uso. El chasis es equipado con un dispositivo neumático de elevación y descenso para evitar daños en los bajos del vehículo o en la transición de una calzada a otra. (Benz, 2015)

Figura 6. Chasis Mercedes Benz O 500 U 1726.



Fuente: (Benz, 2015)

Tabla 4. Dimensiones del chasis Mercedes Benz O 500 U 1726.

<b>Dimensiones generales</b>	
Entre ejes [mm]	5950
Largo total [mm]	11786
Ancho [mm]	2472
Voladizo delantero [mm]	2486
Voladizo posterior [mm]	3350

Elaborado por: Los autores  
Fuente: (Benz, 2015)

*c) Chasis cama baja scania K360*

A través del sistema modular es posible hacer combinaciones de diferentes módulos, maximizando la seguridad del transporte y minimizando el número de componentes, lo que asegura menor costo de stock, menor tiempo de mantenimiento y menor número de mecánicos especializados. (Scania, 2016)

Figura 7. Chasis Scania K 360 Piso Bajo.



Fuente: (Scania, 2016)

“Este tipo de chasis es apto para diferentes modalidades ya que puede ser preparada para carrocerías de 11.50 como mínimo y máximo de 13.50 metros” (Scania, 2016).

Este chasis será seleccionado para hacer el diseño y análisis de la estructura antes mencionada, la misma que será acoplable al eje delantero y posterior, que será de gran utilidad ya que será de fácil acoplamiento, facilitando a las empresas carroceras el tiempo de espera que transcurre mientras el chasis es preparado en otros países.

Tabla 5. Dimensiones del chasis Scania K 360.

<b>Dimensiones generales</b>	
Entre ejes [mm]	3000
Largo total del chasis [mm]	8590
Voladizo delantero [mm]	2500
Voladizo trasero [mm]	3290
Altura del chasis [mm]	803
Ancho delantero [mm]	2475
Ancho trasero [mm]	2467

Elaborado por: Los autores

Fuente: (Scania, 2016)

## **2.4 Generalidades del diseño.**

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. (Budynas, 2013)

### **2.4.1 Etapas de diseño.**

#### *a) Estructuración.*

“Es la identificación de la forma o tipo estructural, incluyendo el material a usar” (Ridell C., y otros, 2012 pág. 16).

#### *b) Análisis.*

“Comprende la modelación de la estructura y el cálculo de deformaciones y esfuerzos internos de sus elementos. Este es un campo bien desarrollado de la ingeniería estructural en que se dispone de herramientas computacionales poderosas” (Ridell C., y otros, 2012).

#### *c) Dimensionamiento.*

Es comúnmente llamado también diseño de los elementos requiere la consideración del tipo de sollicitación (carga axial, flexión, corte, torsión), del comportamiento frente a tal sollicitación, en lo que obviamente incide el material a usar y el nivel de seguridad que es razonable adoptar. (Ridell C., y otros, 2012)

#### **2.4.2 Directrices para el diseño de la estructura del chasis.**

- a) *Carrocería*. Se define como el “conjunto de una estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de pasajeros” (NTE INEN 1 323, 2009).
- b) *Chasis o bastidor*. “Constituye el soporte de todas las partes principales del vehículo (motor, transmisión, suspensión, dirección, ruedas, frenos)” (NTE INEN 1 323, 2009).
- c) *Largueros*. “Son segmentos longitudinales en forma de viga tubular, generalmente de sección rectangular, dispuestas a los dos extremos de los travesaños” (Arrieta, y otros, 2014).
- d) *Travesaño*. “Son fracciones de piezas en forma de viguetas huecas, ubicada a intervalos determinados de forma transversal” (Arrieta, y otros, 2014).

#### **2.4.3 Parámetros a obtener en el diseño.**

Se desea obtener una estructura segura, con el fin de soportar distintos tipos de cargas, por ese motivo al momento de diseñar se deben hacer múltiples estudios con relación a los esfuerzos que deberá resistir la estructura para lograr obtener un factor de seguridad óptimo, seguro durante su vida útil.

Los parámetros a obtener en el diseño de la estructura rígida son:

- a) *Materiales*.
  - Acero con Calidad ASTM A-500, el cual es utilizado estrictamente para la fabricación de estructuras, que contienen carbono conformados en frío, permitiendo resistir las condiciones de desgaste excesivo al ambiente, siendo el mismo un material muy comercial, hallándose fácilmente en el mercado local, provincial y nacional.
  - Acero ASTM A36, el cual presenta buena soldabilidad, una resistencia a la tensión óptima como es de 36 kpsi = 248 MPa, siendo al igual que el Acero ASTM A-500 un material comercial el mismo que se halla en el mercado local, provincial y nacional.

*b) Dimensiones de la estructura rígida.*

Las dimensiones de la estructura rígida, son basadas en la Norma INEN 1668 y en el Reglamento RTE INEN 043:2010, en donde se especifica el ancho, largo y profundidad del vehículo, del cual a través de cálculos se puede determinar las características dimensionales del sistema a diseñar.

*c) Cargas.*

Son todas las fuerzas que va a soportar la estructura rígida diseñada, en donde el sistema se somete a un estricto análisis y se verifica si el mismo es capaz de resistir las cargas máximas establecidas.

*d) Deformación.*

La deformación producida, es un parámetro muy importante a obtener en el análisis y diseño de una estructura, en vista que se relaciona con los cambios que sufre el material en su forma o dimensión, al aplicar una carga determinada sobre este.

*e) Esfuerzos.*

El esfuerzo es la fuerza o carga ubicada sobre todo el área de la estructura rígida diseñada, el mismo que permite comparar la resistencia de un material determinado.

*f) Factor de Seguridad.*

Es la relación entre el esfuerzo calculado que soporta el material utilizado en la estructura rígida diseñada y el valor real que se aplica a ese material.

## **2.5 Materiales utilizados para la fabricación de estructuras.**

### **2.5.1 Acero estructural.**

El material más utilizado en la construcción de perfiles para bastidores de vehículos pesados es el acero. Este acero deberá tener alto límite elástico que generalmente puede ser desde los 230 MPa hasta los 600 MPa. (Mott, 2009)

Tabla 6. Límite elástico del acero.

<b>Acero estructural</b>	
Límite elástico mínimo	230 MPa
Límite elástico máximo	600 MPa

Elaborado por: Los autores

Fuente: (Mott, 2009)

### 2.5.2 *Ventajas del Acero estructural.*

- a) *Alta resistencia.* “La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con condiciones deficientes en la cimentación.” (Luisar, 2007).
- b) *Uniformidad.* “Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo” (Luisar, 2007).
- c) *Elasticidad.* “El acero se acerca más en su comportamiento a su hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, debido a que sigue la ley de Hooke y resiste hasta esfuerzos bastante altos” (Luisar, 2007).
- d) *Durabilidad.* “Si el mantenimiento de las estructuras de acero es el adecuado duraran indefinidamente, si se los da un tratamiento adecuado de pintura no necesitara mantenimiento” (Luisar, 2007).

### 2.5.3 *Desventajas del Acero estructural.*

*Corrosión.* “La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuesto al aire y al agua, por consiguiente, deben pintarse periódicamente” (Villegger, 1985).

*Susceptibilidad al pandeo.* “Cuando más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, tanto mayor es el peligro de pandeo. Sin embargo, en forma ocasional, se necesita algún acero adicional para rigidizarlas y que no se pandeen” (Villegger, 1985).

*Fatiga.* “Su resistencia se puede reducir si se somete a un gran número de inversiones del sentido del esfuerzo, o bien, a un gran número de cambios en la magnitud del esfuerzo de tensión” (Villegger, 1985).

#### 2.5.4 Acero ASTM A36.

En Ecuador se fabrican perfiles de acero ASTM A36 que son utilizados en la construcción de bastidores; máquinas y equipos agrícolas; balanzas, tecles y puentes grúa; instalaciones industriales, soporte de máquinas y equipos; cimientos, estructuras atornilladas, remachadas y soldadas; entre otras, cuyas características son:

Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

<b>Acero ASTM A36</b>	
Resistencia a tensión	400 – 552 MPa
Punto de Fluencia	249 MPa

Elaborado por: Los autores

Fuente: Catalogo DIPAC

#### 2.5.5 Acero SAPH440.

Para la construcción de bastidores de autobuses Chevrolet se utiliza el acero SAPH440 cuyas especificaciones se muestran en la tabla.

Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero SAPH440.

<b>Acero SAPH440</b>	
Punto de Fluencia	196 MPa
Resistencia mínima a Tensión	373 - 412 MPa
Resistencia a la Tensión	392 - 539 MPa
Módulo de Elasticidad	245 166 MPa

Fuente: Manual de Constructores de Carrocerías GM

#### 2.5.6 Acero FeE420.

IVECO en sus bastidores usa este tipo de acero FeE420.

Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero FeE420.

<b>Acero de alta resistencia FeE420 características</b>	
Resistencia a la rotura	530 MPa
Límite de Elasticidad	420 MPa
Alargamiento	≥ 21%

Fuente: IVECO gama euro

## 2.6 Perfiles.

La fabricación de un chasis, comienza por la construcción de una estructura resistente constituida de perfiles de acero de alto límite elástico que sea capaz de soportar las exigencias de uso como, las fuerzas de las diferentes cargas y el mismo material que sean propios de la carrocería.

### 2.6.1 Perfiles utilizados en la construcción de bastidores.

Para la construcción de bastidores se utilizan distintos perfiles que se emplean para largueros, travesaños y la estructura en general, los cuales son:

- Canal U: C 250x80x8, C 200x80x6 y C 50x25x2
- Tubo Cuadrado: 50x50x3
- Tubo Rectangular: 100x50x3

Figura 8. C 250x80x8.



Figura 9. C 200x80x6.

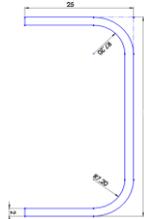
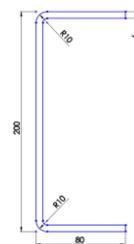
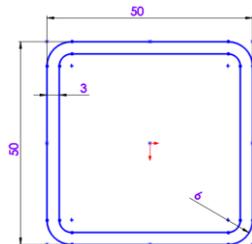


Figura 10. C 50x25x2.



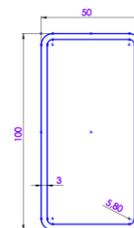
Elaborado por: Los Autores      elaborado por: Los Autores      Elaborado por: Los Autores

Figura 11. Tubo Cuadrado: 50x50x3.



Elaborado por: Los Autores

Figura 12. Tubo Rectangular: 100x50x3.



Elaborado por: Los Autores

### 2.6.2 Aplicaciones del perfil estructural en U

#### Usos estructurales

- Columnas
- Vigas
- Muebles metálicos; camas
- Estructuras en general
- Estructura de cubiertas

Tabla 10 Características del perfil estructural en U

<b>Especificaciones generales</b>	
Largo normal	6 m
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Calidad del acero	ASTM A-36
Espesores	Desde 1.5 a 10 mm

Elaborado por: Los autores

Fuente: (Catalogo de productos IPAC, 2015)

### 2.6.3 Aplicaciones del tubo estructural cuadrado.

#### Usos estructurales

- Columna de estructuras
- Estructuras para techos de vidrio
- Cerramientos
- Portones
- Postes de señalización

#### Otros usos

- Carrocías
- Muebles metálicos
- Máquinas para gimnasio
- Casetas de guardianía
- Estructuras para letreros
- Estructuras metálicas
- Maquinaria industrial
- Remolques

Tabla 11 características del tubo estructural cuadrado

<b>Especificaciones generales</b>	
Largo normal	6 m
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Dimensiones	Desde ¾ a 4 plg. (20x20) a (100x100) mm
Espesores	Desde 1.5 a 4 mm
Calidad de acero	ASTM A-36

Elaborado por: Los autores  
Fuente: (Catalogo de productos IPAC, 2015)

#### 2.6.4 Aplicaciones del tubo estructural rectangular

##### *Usos estructurales*

- Estructuras para techos de vidrio
- Cerramientos
- Portones
- Postes de señalización

##### *Otros usos*

- Carrocerías
- Muebles metálicos
- Máquinas para gimnasio
- Casetas
- Fabricación de máquinas industriales
- Remolques

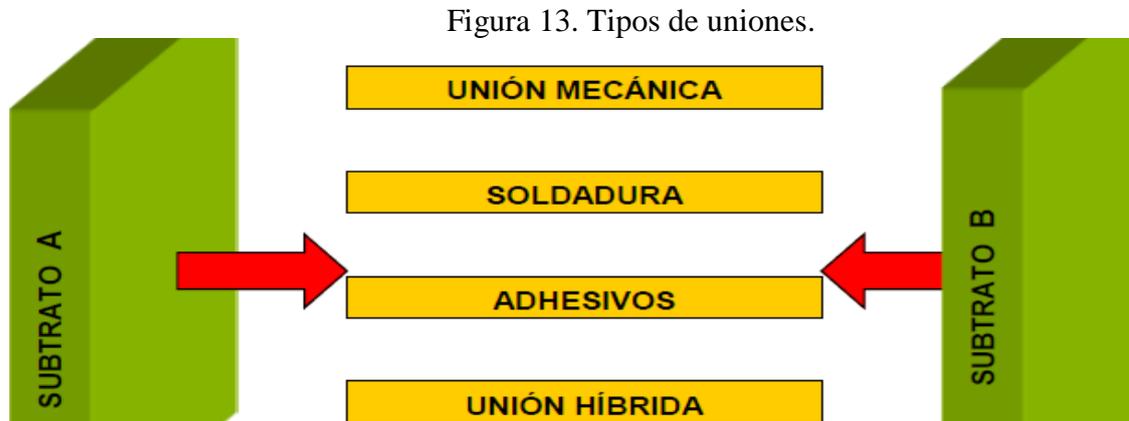
Tabla 12 características del tubo estructural rectangular

<b>Especificaciones generales</b>	
Largo normal	6 m
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Dimensiones	Desde ¾ a 1 1/2 plg a 2x6 plg. (20x40) a (50x150) mm
Espesores	Desde 1.5 a 4 mm
Calidad de acero	ASTM A-36

Elaborado por: Los autores  
Fuente: (Catalogo de productos IPAC, 2015)

## 2.7 Uniones de elementos estructurales.

Las formas de unión de dos piezas independientes se dividen en tres grandes grupos, mecánicas, soldadas y adhesivas, o una combinación de las anteriores.



Fuente: (Garcia, 2013)

### 2.7.1 Uniones mecánicas.

#### a) Roblonado.

“La unión mediante roblones se realiza a través de perforaciones practicadas en las piezas a unir de forma que el roblón actúa como un tornillo pasante, la diferencia estriba en que el roblón no se rosca a la última pieza a unir, ni se sujeta mediante una tuerca” (Garcia, 2013 pág. 22).

#### b) Tornillos.

“Los tornillos son el método de montaje ideal cuando tiene que ser posible el desmontaje de la unión con frecuencia y fácilmente, por lo que suelen ser muy fiables” (Garcia, 2013 pág. 22).

#### Clases de tornillos.

Según (Garcia, 2013), los tornillos se clasifican según la norma EA95 en función de su calidad y diámetro de la espiga en tres clases.

- Clase T: Tornillos ordinarios
- Clase TC: Tornillos calibrados

- Clase TR: Tornillos de alta resistencia

“La resistencia de las uniones en las que se emplean tornillos de alta resistencia, se debe al aprovechamiento de las fuerzas de rozamiento desarrolladas al apretar fuertemente los diversos tornillos. Estas contrarrestan la acción de las fuerzas exteriores que tienden a separar las piezas” (Garcia, 2013 pág. 38).

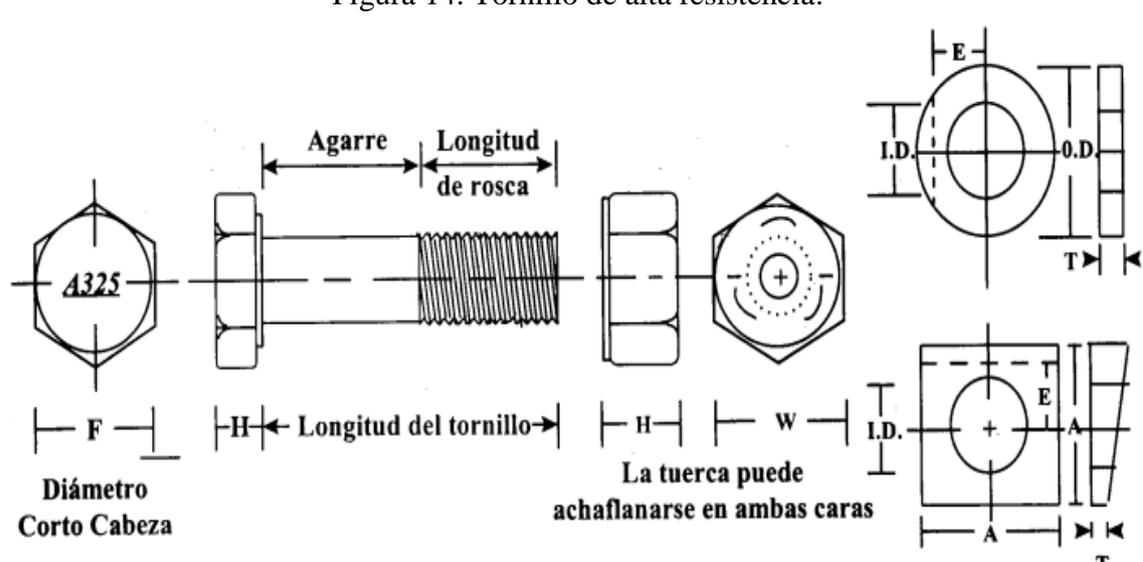
“La fuerza de apretadura origina en la espiga del tornillo un esfuerzo de tracción muy elevado el cual comprime las piezas a unir dando lugar a esfuerzos de deslizamiento que se oponen al resbalamiento de ambas superficies” (Garcia, 2013 pág. 38).

(Garcia, 2013), la magnitud que se puede transmitir dependen fundamentalmente de:

- La intensidad de la fuerza de tracción en el cuerpo del tornillo
- El coeficiente de rozamiento que se haya conseguido

“Es de destacar que, si las uniones están bien realizadas; los tonillos no trabajan a cortadura.” (Garcia, 2013).

Figura 14. Tornillo de alta resistencia.

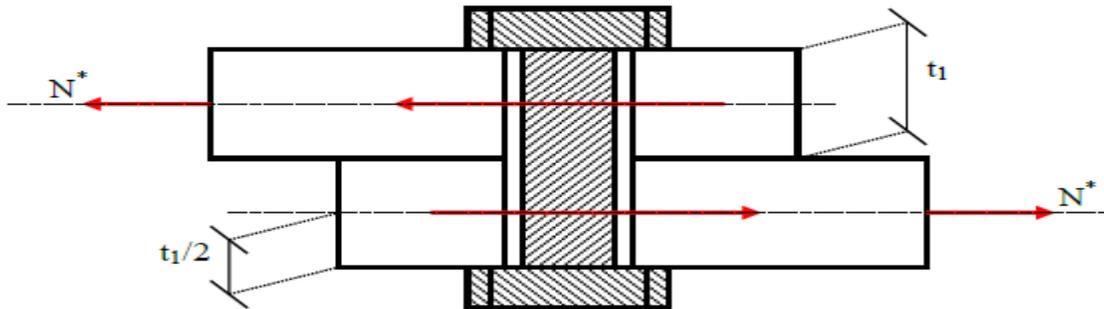


Fuente: (Guillermo)

La resistencia y el cálculo de tornillos se basa en la (Norma NBE-EA y Euro código 3 (EC-3)).

- Calculo de tornillos trabajando a cortadura.

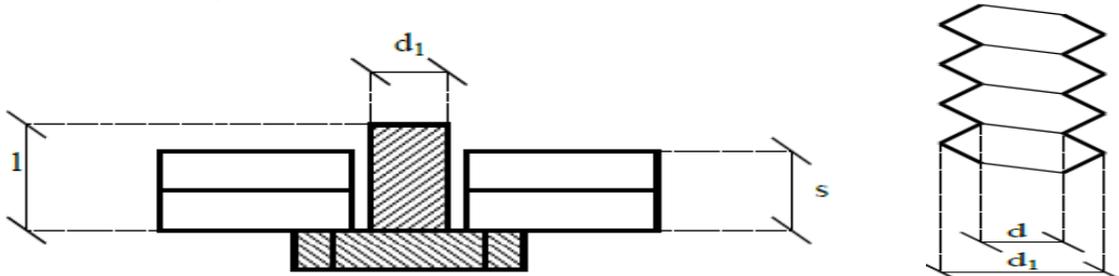
Figura 15. Esquema general unión atornillada trabajando a cortadura.



Fuente: (Garcia, 2013)

Según (Garcia, 2013), especifica que el cálculo de las uniones atornilladas es similar al descrito para las uniones remachadas, tal como se especifica a continuación:

Figura 16. Dimensiones fundamentales de unión atornillada.



Fuente: (Garcia, 2013)

$$n_t = \frac{P}{S_r T_{adm}} \quad \text{Ec1}$$

Dónde:

$n_t$  : Número de remaches (tornillos) trabajando a simple cortadura.

$P$ : Carga a tracción que se aplica a las placas en unión a solape simple.

$S_r$ : Sección resistente del remache (tornillo).

$T_{adm}$ : Tensión admisible a cortadura del material del remache (tornillo).

- Cálculo de tornillos trabajando a tracción.

El cálculo es igual que el realizado para los remaches (tornillos), teniendo en cuenta que la sección resistente es la parte roscada.

(Garcia, 2013), indica que la ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$\sigma_t = \frac{P}{S_r} \leq \sigma_{t adm} \quad \text{Ec2}$$

Dónde:

- $P$ : Carga a la que está sometida el remache (tornillo).
- $S_r$ : Sección resistente del remache (tornillo).
- $\sigma_{t adm}$ : Tensión admisible a tracción del remache (tornillo).

### 2.7.2 Tipos de pernos.

#### a) Pernos de acero.

Está fabricado en acero de medio carbono aleado, tratado térmicamente. La dureza del perno en pulgadas es SAE GRADO 8 y en el perno milimétrico la dureza es DIN Clase 8.8. Se encuentra disponible en cabeza hexagonal. Tanto el perno en pulgadas como el milimétrico viene en rosca gruesa (ordinaria) y rosca fina. El perno está fabricado en acero negro. Se recomienda su utilización en general para aplicaciones industriales, automotrices, construcción de puentes, torres y estructuras, etc. donde la carga no exceda de 100000 lbs/pulg<sup>2</sup>. La rosca fina se recomienda utilizar en aplicaciones donde exista movimiento y vibración. (La Casa del Perno, 2015)

Figura 17. Pernos de Acero.



Fuente: (La Casa del Perno, 2015)

#### b) Pernos estructurales.

Son pernos de acero de medio carbono templado y revenido, de acuerdo a la norma de calidad ASTM A-325 Tipo1 ASME B18, 2.6-1996. Su principal uso es en estructuras con requerimientos de alta resistencia a la tracción y corte, especialmente para juntas

estructurales solicitadas mecánicamente. Se utiliza en conjunto con tuercas estructurales, de acero reforzado según norma ASTM Ha-194 2 H. Adicionalmente, se dispone de rodela (arandelas) estructurales con tratamiento térmico según norma ASTM F-436. Disponibles en acero galvanizado al caliente. Sus características de dureza y resistencia los hacen equivalentes a la norma SAE J429 grado 5. (La Casa del Perno, 2015)

Figura 18. Pernos Estructurales A325.



Fuente: (La Casa del Perno, 2015)

Tabla 13. Pernos SAE (Society of Automotive Engineers).

N° grado	Material	Carga de prueba (kpsi)	Esfuerzo de ruptura (kpsi)
1,2	Acero de bajo carbono	55-33	74-60
5	Acero al carbono, templado y revenido	85-74	120-105
5.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	85	120
7	Acero al carbono aleado, templado y revenido	105	133
8	Acero al carbono aleado, templado y revenido	120	150
8.2	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	120	150

Fuente: (La Casa del Perno, 2015)

Tabla 14. Pernos ASTM (American Society for Testing and Materials).

N° grado	Material	Carga de prueba (kpsi)	Esfuerzo de ruptura (kpsi)
A307	Acero de bajo carbono		
A325 tipo 1	Acero al carbono, Te y Rev	85-74	120-105
A325 tipo 2	Acero de bajo carbono martensítico, Te y Rev	85-74	120-105
A325 tipo 3	Acero recubierto Tem y Rev	85-74	120-105
A354 grado BC	Acero aleado, templado y revenido		
A354 grado BD	Acero aleado, templado y revenido	120	150
A449	Acero aleado, templado y revenido	85 - 74 - 55	102 - 105 - 90

Tabla 14. (Continuación) Pernos ASTM (American Society for Testing and Materials).

A490 tipo 1	Acero aleado, temp y rev.	120	150
-------------	---------------------------	-----	-----

Fuente: (La Casa del Perno, 2015)

Tabla 15. Pernos DIN (Deutsches Institut für Normung).

N° grado	Material	Carga de prueba (kpsi)	Esfuerzo de ruptura (kpsi)
4.6	Acero de bajo carbono o acero al carb.	225	400
4.8	Acero de bajo carbono o acero al carb.	310	420
5.8	Acero de bajo carbono o acero al carb.	380	520
8.8	Acero al carbono, templado y revenido	600	830
9.8	Acero al carbono, templado y revenido	650	900
10.9	Acero de bajo Carbono martensítico, templado y revenido	830	1040

Fuente: (La Casa del Perno, 2015)

### 2.7.3 Uniones soldadas.

“La soldadura ideal sería aquella que produjera una continuidad absoluta entre las partes unidas, de forma que fuera indiscernible la frontera entre ellas. En la práctica se puede definir la soldadura como la operación que permite unir partes en una sola pieza” (García, 2013).

“La soldadura es un proceso de unión de materiales, en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más partes mediante la aplicación de calor o presión. La integración de las partes que se unen mediante soldadura se llama ensamble soldado” (Federación de Enseñanza, 2010).

#### 2.6.1.1 Tipos de Uniones Soldadas.

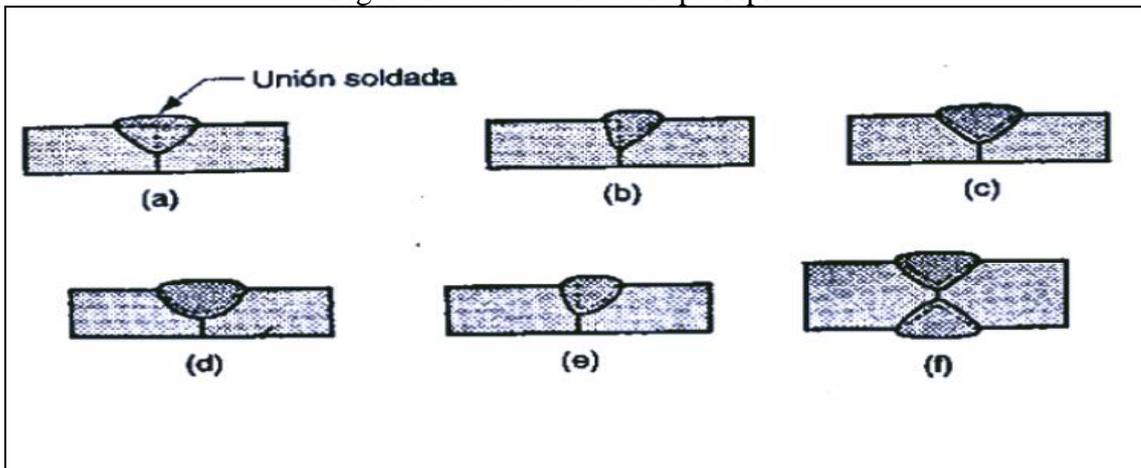
Según la (Federación de Enseñanza, 2010), los tipos de uniones soldadas se dividen en:

- Unión a tope o empalmada
- Unión de solapado, superpuesta o traslape
- Unión de esquina o ángulo exterior
- Unión en T o ángulo interior
- Unión de borde
- Soldaduras de recargue o superficie

- Soldadura de ranura.

**Unión a tope o empalmada:** “Es la más utilizada y consiste en unir las chapas situadas en el mismo plano, las cuales son superiores a 6 mm o para soldar por ambos lados; iniciando con la preparación de los bordes. El objetivo de esta soldadura es conseguir una penetración completa y que constituya una transición lo más perfecta posible entre los elementos soldados.” (Federación de Enseñanza, 2010)

Figura 19. Soldaduras a Tope Típicas.



Algunas soldaduras a tope típicas:

- Soldadura a tope cuadrada, un lado
- Soldadura de bisel único
- Soldadura a tope en V único
- Soldadura a tope en U único
- Soldadura con a tope único
- Soldadura a tope en V doble para secciones más gruesas

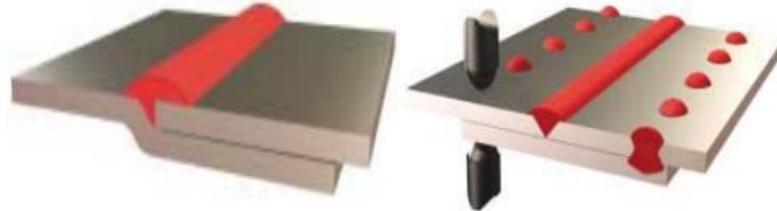
Fuente: (Federación de Enseñanza, 2010)

**Unión de solapado, supuesta o traslape:** Este tipo de uniones consiste en dos partes que se superponen, los cuales se utilizan comúnmente para la fabricación de carrocerías de vehículos. Este tipo de unión da resultados satisfactorios en la sustitución parcial de paneles exteriores, pudiendo verificarse que esta configuración de costura cumple todas las condiciones necesarias para restablecer la resistencia original. (Federación de Enseñanza, 2010).

“En este método se da un solapado de las piezas a unir en la zona de la costura. Este solapamiento se realizará por medio del escalonado de uno de los bordes de la costura, en

función de la rigidez de la superficie. Este escalonado se realiza por medio de un alicate de filetear o de una dobladora neumática” (Federación de Enseñanza, 2010).

Figura 20. Unión Solapada.

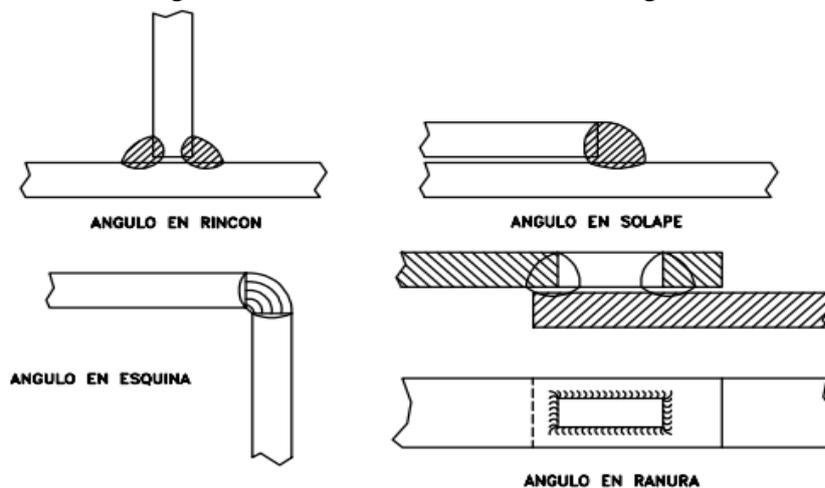


Fuente: (Federación de Enseñanza, 2010)

**Unión de Esquina o Ángulo Exterior y en T:** “Es el tipo más común en la soldadura con arco eléctrico, en la de oxígeno y gas combustible, porque requiere una mínima preparación de los bordes.” (Federación de Enseñanza, 2010)

“Las soldaduras de ángulo o filete pueden ser sencillas o dobles (esto es, soldarse en uno o ambos lados) y continuas o intermitentes (esto es, soldadas a lo largo de toda la longitud de la unión o con espacio sin soldar a lo largo de una orilla). La soldadura puede ser en ángulo de esquina o en solape” (Federación de Enseñanza, 2010).

Figura 21. Cordón de Soldadura en Ángulo.

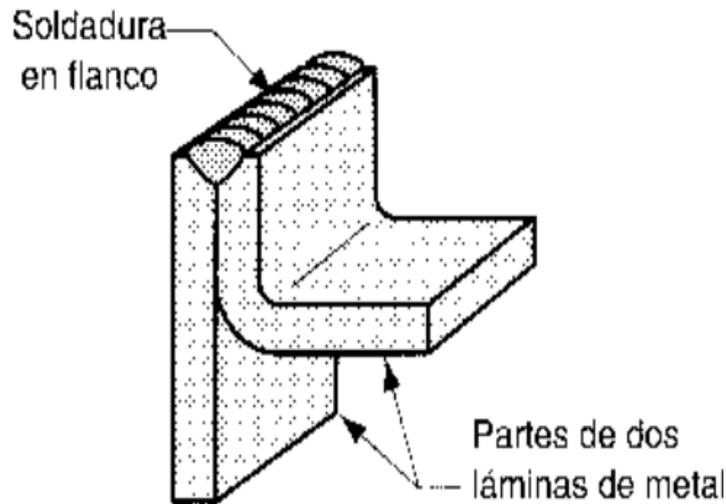


Fuente: (Federación de Enseñanza, 2010)

**Unión de Borde:** “Una soldadura en flanco se hace en las aristas de dos o más partes, en láminas metálicas o placas delgadas, en donde las uniones, están paralelas con al menos uno de sus bordes en común que es donde se hace la unión” (Federación de Enseñanza, 2010).

“Se utiliza normalmente para espesores finos sin aporte de material (soldadura oxiacetilénica y TIG), el procedimiento de soldeo es crear un baño de fusión con el metal base y desplazarlo por toda la junta” (Federación de Enseñanza, 2010).

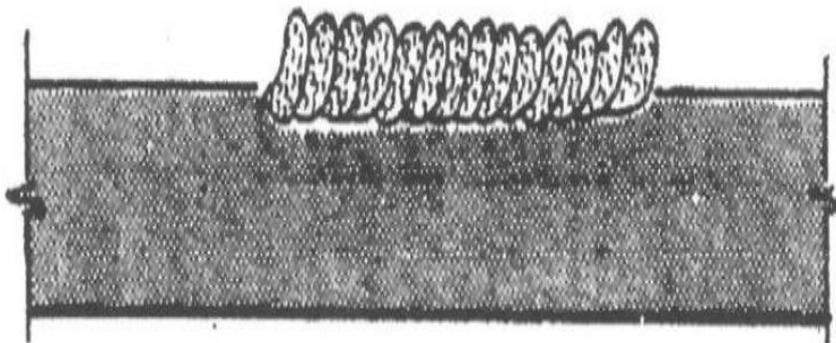
Figura 22. Unión de Borde.



Fuente: (Federación de Enseñanza, 2010)

**Soldadura de Recargue o de Superficie:** “Una soldadura en superficie no se usa para unir partes, sino para depositar metal de relleno sobre la superficie de una base en una o más gotas de soldadura. El propósito es aumentar el grosor de la placa o proporcionar un recubrimiento protector sobre la superficie” (Federación de Enseñanza, 2010).

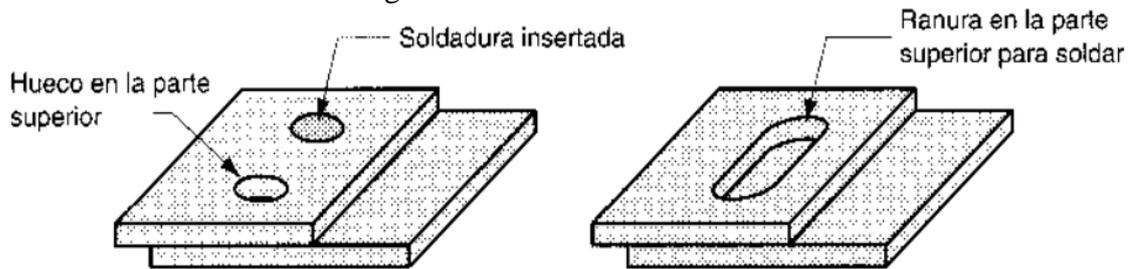
Figura 23. Soldadura de Recargue.



Fuente: (Federación de Enseñanza, 2010)

**Soldadura de Ranura:** “Las soldaduras con insertos y las ranuradas se usan para unir placas planas, usando uno o más huecos o ranuras en la parte superior, que después se rellenan con metal para fundir las dos partes” (Federación de Enseñanza, 2010).

Figura 24. Soldadura de Ranura.



Fuente: (Federación de Enseñanza, 2010)

#### 2.7.4 Uniones Adhesivas.

“La unión con adhesivos es un proceso en el cual se usa un material re llenador para mantener juntas dos (o más) partes muy cercanas mediante la fijación de la superficie”. El material que une las partes se llama adhesivo, la misma que es una sustancia no metálica, generalmente es un polímero. (ITESCAM, 2012).

Según (Madrid, 2012), determina que las uniones adhesivas presentan las siguientes ventajas con respecto a otros métodos de ensamblaje de materiales:

- Distribución uniforme de tensiones
- Rigidización de las uniones
- No se produce distorsión del sustrato
- Permiten la unión económica de distintos materiales
- Uniones selladas
- Aislamiento
- Reducción del número de componentes
- Mejora del aspecto del producto
- Compatibilidad del producto
- Uniones híbridas

De igual manera (Madrid, 2012), indica que los inconvenientes que presentan las uniones adhesivas son:

- Necesidad de preparación superficial
- Espera de los tiempos de curado
- Dificultad de desmontaje
- Resistencias mecánicas a temperaturas limitadas

- Inexistencia de ensayos no destructivos

a) *Elección del Adhesivo.*

Para la correcta elección de un adhesivo se deben considerar diversos factores como son: (Puente, 2013)

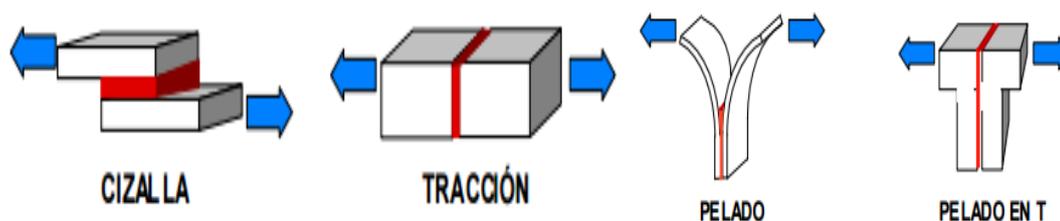
- Tipos de sustratos a unir, pues la adherencia de todos los adhesivos no es la misma.
- Acabado superficial de las partes que se van a unir.
- Tipos de disolventes, aceites u otros contaminantes que puedan estar en contacto con la unión.
- Temperaturas máximas y mínimas que soportará la unión, y si éstas serán constantes o intermitentes. Este factor hay que tenerlo muy presente en uniones de materiales con coeficientes térmicos.
- La rigidez de la unión y de los elementos que se van a unir condicionará en parte la rigidez del adhesivo empleado. La elasticidad del adhesivo se amoldará a la elasticidad del sustrato, no debiéndose emplear adhesivos rígidos para unir elementos flexibles.
- Magnitud y tipo de sollicitación que haya de soportar.

b) *Diseño de la junta:*

El empleo de materiales adherentes requiere juntas de diseño especial, no debiéndose emplear las destinadas para otros métodos de unión; no obstante, el campo de los adhesivos en aplicaciones estructurales está en rápida evolución y sus posibilidades de resistencia a diferentes estados de tensión se han incrementado notablemente, teniendo en cuenta que actúan en una zona entera y no sobre un único punto, como ocurre en las uniones mecánicas, con la consecuente pérdida de capacidad de resistencia. (Puente, 2013)

En una unión con adhesivos pueden producirse cuatro estados de tensión: tracción, cizalladura, peladura y desgarro.

Figura 25. Estados de Tensión en una Unión con Adhesivos.



Fuente: (Puente, 2013)

**Estado de cizalladura;** “este tipo de unión es recomendado para chapas delgadas, como las que se presentan en las carrocerías del automóvil.” (Puente, 2013).

**Estado de tracción;** “se debe tener presente en este tipo de estado, si la fuerza no ha actúa de forma perfectamente axial, se producen tensiones de desgarramiento” (Puente, 2013).

**Estado de peladura;** “la acción de esfuerzo se limita a una línea muy delgada en el borde de la unión, por lo que el adhesivo no refuerza el resto de la junta” (Puente, 2013)

**Estado de desgarro o pelado en T;** “la tensión actúa en uno de los lados de la unión, permaneciendo el resto de la junta sin tensión alguna” (Puente, 2013).

#### c) Clasificación de Adhesivos.

Según (ITESCAM, 2012), los adhesivos se clasifican en:

- **Naturales**, los cuales son materiales derivados de fuentes como plantas y animales, e incluyen las gomas, el almidón, la dextrina, el flúor de soya y el colágeno. Este tipo de adhesivos se limita aplicaciones de bajo tensión.
- **Inorgánicos**, se basan principalmente en el silicio de sodio y el oxiclорuro de magnesio, aunque el costo de estos es relativamente bajo, su resistencia es similar a los naturales.
- **Sintéticos**, constituyen la categoría más importante en la manufactura; incluyen diversos polímeros termoplásticos y duro plásticos.

#### d) Tipos de adhesivos.

Según (ITESCAM, 2012), los tipos de adhesivos son:

- **De base acuosa;** los cuales se basan en dispersiones o soluciones de polímeros; en donde el adhesivo se seca al evaporarse el agua contenida. A temperaturas altas se dilata poco en pegar, pero a temperaturas bajas tarda mucho en secar, como las colas vinílicas o celulósicas. (ITESCAM, 2012)
- **De base solvente;** se debe especificar que las disoluciones de polímeros en un solvente orgánico, produce el secado al evaporarse el disolvente. Al aplicar estos adhesivos se debe tomar en cuenta que este no ataque por disolución a las superficies a unir como, las colas de contacto o impacto. (ITESCAM, 2012)
- **Adhesivos reactivos;** estos no contienen agua ni otros elementos orgánicos ya que por medio de sustancias químicas producen el secado. Son muy utilizados en la industria por su rapidez de secado y por tener una buena relación al mantenerse unidos en cambios drásticos de temperatura, como son los poliuretanos, siliconas, anaeróbicos. (ITESCAM, 2012)
- **Adhesivos Termofusibles;** son una sustancia sólida que una vez fundida se puede emplear como adhesivo y al enfriarse de nuevo adquiere su dureza original, se utilizan en la industria automotriz y en la aeroespacial. (ITESCAM, 2012)

e) *Métodos de aplicación del adhesivo:*

Los métodos de aplicaciones del adhesivo según (ITESCAM, 2012), son:

- Aplicación con brocha
- Rodillos manuales
- Serigrafía
- Por flujo

### **2.7.5 Uniones Híbridas con Tornillos y Soldadura.**

“Se denominan uniones híbridas a aquellas en que dos o más medios de unión distintos, soldadura o tornillos, colaboran para transmitir un determinado esfuerzo entre dos piezas distintas” (Gobierno de España, 2012).

“No se consideran como uniones híbridas a las transmisiones de un cierto esfuerzo de una pieza a otra utilizando un determinado medio de unión, y de esta segunda pieza a una tercera utilizando un medio diferente” (Gobierno de España, 2012).

“Cuando en la misma unión entre dos piezas hayan de colaborar cordones de soldadura y tornillos en la transmisión del cortante, el medio de unión que posea la mayor rigidez se ha de diseñar para soportar la totalidad de la carga” (Gobierno de España, 2012).

“Como excepción, en las uniones con tornillos pretensados de clase 8.8 o 10.9, en uniones trabajando a rozamiento en estado límite último (Categoría C), se puede asumir que estos comparten la carga con las soldaduras siempre que el par de apriete de los tornillos se efectúe después de haber completado la soldadura” (Gobierno de España, 2012).

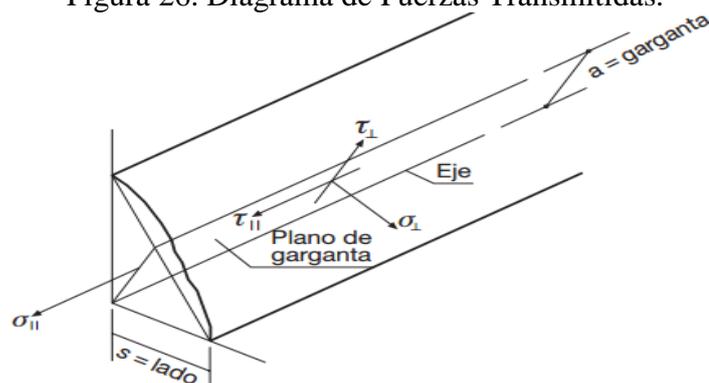
“La resistencia de la unión será igual a la suma de la resistencia aportada por la soldadura y por los tornillos, respectivamente” (Gobierno de España, 2012).

La resistencia de la unión híbrida se base en:

- **Resistencia de cordones en ángulo.** “Se analiza un tramo de cordón de soldadura en ángulo, de longitud lo suficientemente pequeño para poder suponer que en él las tensiones son uniformes” (Gobierno de España, 2012).

“Se supondrá que las fuerzas transmitidas por dicho tramo de cordón, dan origen a las tensiones normales  $\sigma_{//}$ , que actúa sobre un plano normal al eje del cordón y que no afecta a la resistencia del mismo, y  $\sigma_{\perp}$ , que actúa sobre el plano de garganta; y a las tensiones tangenciales  $\tau_{//}$  y  $\tau_{\perp}$ , que actúan sobre el plano de garganta en dirección paralela y perpendicular al eje del cordón, respectivamente” (Gobierno de España, 2012).

Figura 26. Diagrama de Fuerzas Transmitidas.



Fuente: (Gobierno de España, 2012)

- **Resistencia de Cordones a Tope.**

Según el (Gobierno de España, 2012), la resistencia del cordón a tope se divide en:

*Resistencia de cordones de penetración completa sin defectos*; el cual, es igual o superior a la del metal de base contiguo más débil, por lo que no precisa ser calculado.

*Resistencia de cordones de penetración parcial sin defectos*, es igual a la de un cordón en ángulo del mismo espesor de garganta.

- **Resistencia a deslizamiento.**

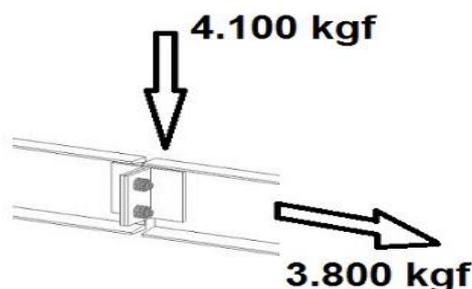
“Los tornillos de alta resistencia, grados 8.8 y 10.9, que deban ser pretensados, deberán apretarse de acuerdo con alguno de los métodos expuestos, hasta conseguir una tracción en el vástago igual al 70% de su resistencia a tracción” (Gobierno de España, 2012).

a) *Ejecución de la Unión.* “Los tornillos de alta resistencia no se apretarán hasta haber terminado la ejecución de las soldaduras para evitar que sean solicitados por las tensiones residuales de soldeo” (Gobierno de España, 2012).

b) *Refuerzos.* “Cuando sea preciso reforzar una unión atornillada o roblonada existente, podrán emplearse cordones de soldadura en dicho refuerzo, siempre que se calculen para que sean capaces de resistir todos los esfuerzos ocasionados por las cargas permanentes que el propio refuerzo introduzca y todas las sobre cargas que puedan actuar después de haber efectuado el citado refuerzo” (Gobierno de España, 2012).

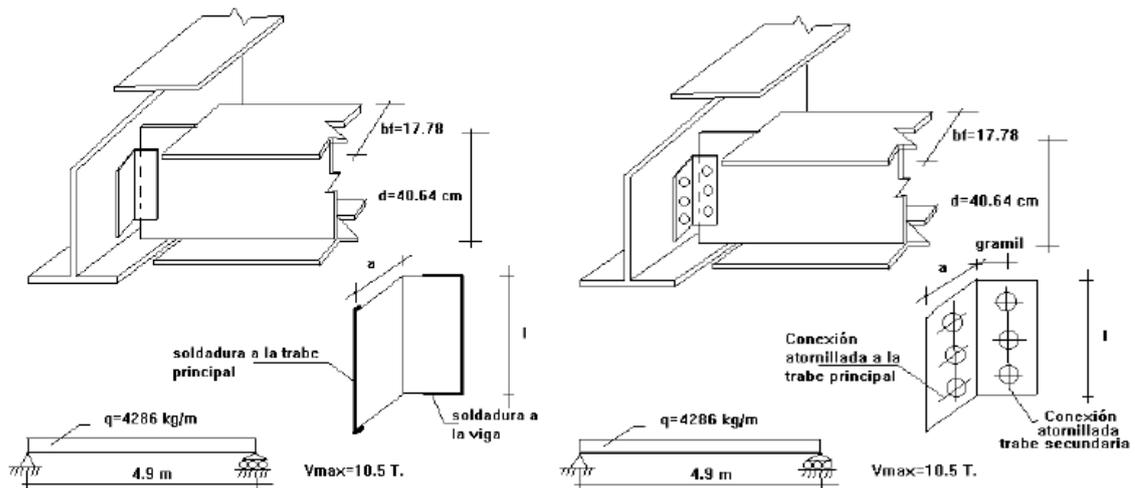
“Los esfuerzos ocasionados por las cargas permanentes existentes antes de la ejecución deberán ser resistidos por los medios de unión existentes” (Gobierno de España, 2012).

Figura 27. Unión Híbrida.



Fuente: (Ingemecánica, 2016)

Figura 28. Disposición de Unión Híbrida.



Fuente: (Zetina, 2004)

## 2.8 Determinación de cargas en el diseño.

Todos los vehículos tienen distintos tipos de cargas, carga viva y carga muerta que al unirse con el movimiento del automotor se crea la carga transportada.

### a) Carga viva.

“Es todo aquello que puede variar dependiendo de la situación, es decir el peso de los ocupantes, equipaje, etc.” (NTE INEN 1 323, 2009).

Son cargas externas no permanentes gravitacionales, de magnitud y posición variable; halladas o ejercidas por periodos determinados y limitados; sobre un objeto o una estructura; conformada por los pesos o fuerzas de personas, equipajes, accesorios y mercadería movable o temporal, entre otras.

### b) Carga muerta.

“Es todo aquello que van a estar permanentemente sobre la estructura del bastidor como peso propio, estructura, elementos eléctricos, elementos electrónicos accesorios, etc.” (NTE INEN 1 323, 2009).

Son cargas que actúan durante toda la vida, gravitacionales; halladas o ejercidas, por periodos permanentes; sobre el bastidor conformadas por los pesos de la estructura, instalaciones eléctricas, electrónicas, mecánicas y todo equipo o artefacto incorporado permanentemente.

c) *Carga de giro.*

“Corresponde a la fuerza producida por el giro de un vehículo” (NTE INEN 1 323, 2009).

Este tipo de carga, es una fuerza ejercida u originada, que actúa sobre un vehículo en movimiento, en una curva de un radio de giro establecido a una determinada velocidad.

d) *Carga de frenado.*

“Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo” (NTE INEN 1 323, 2009).

Este tipo de carga se origina en la fuerza ejercida por el actuar del frenado del vehículo, desarrollado en la superficie que se encuentra en contacto las ruedas con la calzada.

e) *Carga de aceleración brusca.*

“Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo” (NTE INEN 1 323, 2009).

Este tipo de carga se produce en la fuerza originada, cuando el cuerpo se encuentra sometido a la atracción gravitatoria, por el actuar de la aceleración brusca del vehículo dada por el aumento de velocidad, que se dan como respuesta fuerzas ejercidas de inercias proporcionales a la masa del cuerpo.

Según las (NTE INEN 1 323, 2009), indica que las Cargas Vivas según norma se determinara de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 16. Detalle de cargas vivas en los trasportes de pasajeros.

<b>Tipo de servicio</b>	<b>Masa de un ocupante [kg]</b>	<b>Masa mínima de equipaje por pasajero [kg]</b>	<b>Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas porta equipajes [kg]</b>	<b>Espacio necesario por pasajero de pie [m<sup>2</sup>]</b>
Urbano	70	-	-	0.16
Urbano (escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie

Tabla 16. (Continuación) Detalle de cargas vivas en los transportes de pasajeros.

Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x vol.	0.16
Larga distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x vol.	Sin pasajeros de pie

Elaborado por: Los autores  
Fuente: (NTE INEN 1 323, 2009)

### 2.8.1 Casos de Cargas.

#### a) Caso de flexión.

“Este se carga en un plano vertical, el plano x-z debido al peso de los componentes distribuido a lo largo del bastidor del vehículo que causan la flexión alrededor del eje y”  
(Albuja, y otros, 2016).



Figura 29. Caso de flexión.

Fuente: (Chagoyén César A, 2013)

#### b) Caso de torsión.

“La carrocería del vehículo es sometida a un momento aplicado a las líneas centrales de los ejes hacia arriba y cargas hacia abajo en cada eje, en este caso. Estas cargas dan lugar a una acción de giro o momento de torsión sobre el eje x longitudinal del vehículo”  
(Albuja, y otros, 2016).

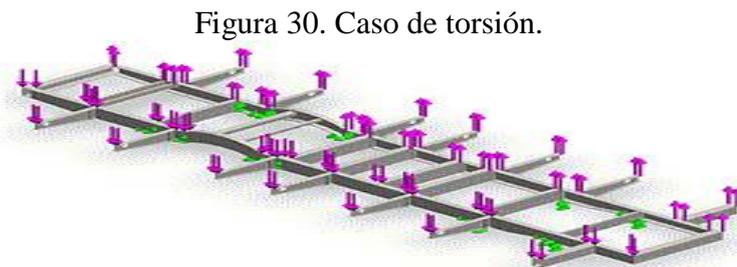


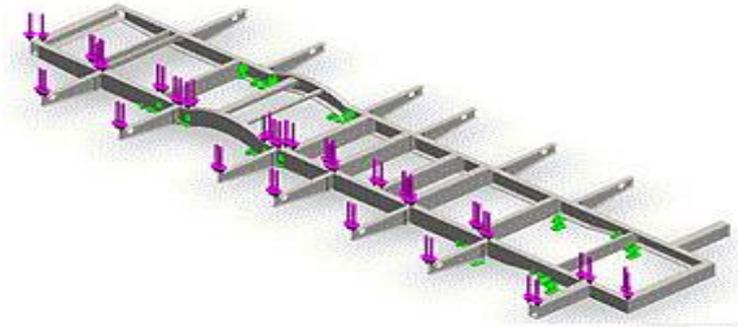
Figura 30. Caso de torsión.

Fuente: (Chagoyén César A, 2013)

c) *Carga lateral.*

“Esta condición se produce cuando el vehículo es conducido en una esquina o cuando se desliza contra una acera, es decir, las cargas a lo largo del eje y” (Albuja, y otros, 2016)

Figura 31. Carga lateral en un vehículo.



Fuente: (Chagoyén César A, 2013)

## 2.9 Técnicas Computacionales.

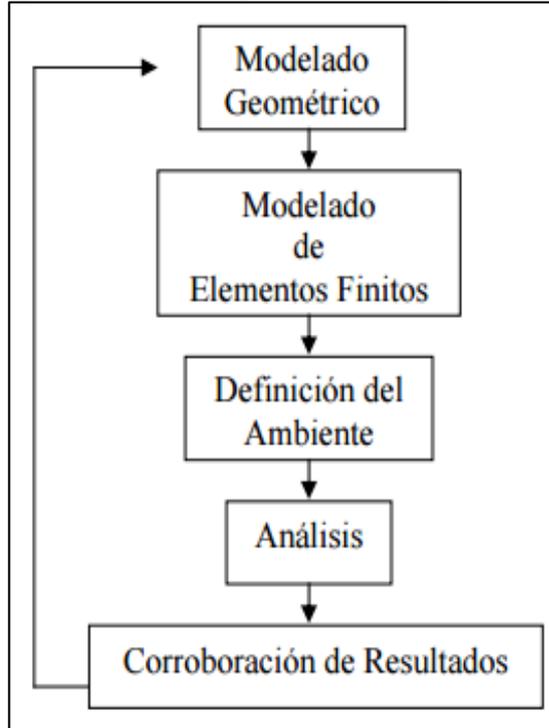
“Los métodos computacionales para el análisis estructural se deben hacer, ya que estos métodos ahora son fundamentales en el proceso de diseño de los vehículos. El análisis estructural se centra ahora en torno al método de análisis de elementos finitos, donde la estructura del vehículo se divide en pequeños elementos” (Albuja, y otros, 2016).

Las ecuaciones de la estática (y / o dinámica), además de las ecuaciones de análisis de tensión y elasticidad para cada elemento se resuelven simultáneamente usando métodos matriciales. La complejidad de los modelos de elementos finitos se ha incrementado enormemente y los ingenieros intentan modelar los vehículos con mayor detalle. (Anandraj, 1995)

### 2.9.1 *Proceso para el análisis por MEF (método del elemento finito).*

El MEF es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales. La solución obtenida por MEF es sólo aproximada, coincidiendo con la solución exacta sólo en un número finito de puntos llamados nodos. En el resto de puntos que no son nodos, la solución aproximada se obtiene interpolando a partir de los resultados obtenidos para los nodos, lo cual hace que la solución sea sólo aproximada debido a ese último paso. (Albuja, y otros, 2016)

Figura 32. Proceso para el análisis por M.E.F.

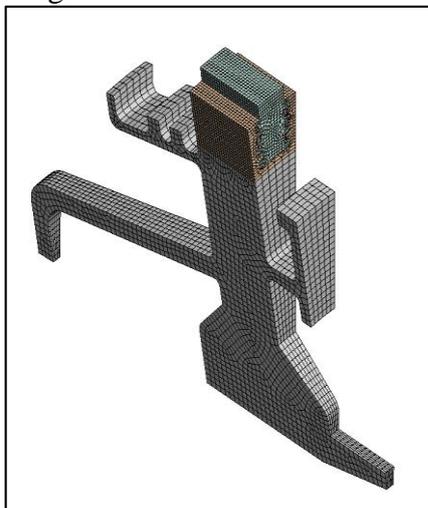


Fuente: (Albuja, y otros, 2016)

Según (Albuja, y otros, 2016), desde el punto de vista de la programación algorítmica modular, las tareas necesarias para llevar a cabo un cálculo mediante un programa MEF se dividen en:

- *Pre-proceso de mallado*; La generación de malla es uno de los aspectos más críticos de simulación de ingeniería. Demasiadas células pueden dar lugar a soluciones demasiado largas, y muy pocos pueden llevar a resultados inexactos (Anandraj, 1995).

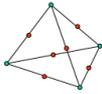
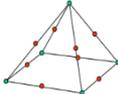
Figura 33. Proceso de mallado.



Fuente: (Albuja, y otros, 2016)

“Para el pre-proceso de mallado se tiene diferentes tipos de malla cuya principal diferencia es el número de nodos por elemento como se muestra en la siguiente tabla” (Albuja, y otros, 2016).

Tabla 17. Tipos de malla.

Forma del elemento	Nodo por volumen de control
Tetraedro	10 
Pirámide	13 
Prisma triangular	15 

Elaborado por: Los autores  
Fuente: (Albuja, y otros, 2016)

### 2.9.2 Cálculo y resolución de sistemas de ecuaciones.

“En un problema mecánico lineal no-dependientes del tiempo, como un problema de análisis estructural estático o un problema elástico, el cálculo generalmente se reduce a obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito” (Albuja, y otros, 2016).

“Cuando el problema es no lineal en general la aplicación de las fuerzas requiere la aplicación incremental de las fuerzas y considerar incrementos numéricos, y calcular en cada incremento algunas magnitudes referidas a los nodos” (Albuja, y otros, 2016).

- Post-proceso

El MEF es usado para calcular problemas tan complejos, que los ficheros que se generan como resultado del MEF tienen tal cantidad de datos que resulta conveniente procesarlos de alguna manera adicional para hacerlos más comprensible e ilustrar diferentes aspectos del problema. En la etapa de post-proceso los resultados obtenidos de la resolución del sistema son tratados, para obtener representaciones gráficas y obtener magnitudes derivadas que permitan extraer conclusiones del problema. (Albuja, y otros, 2016)

### 2.9.3 Métodos de análisis.

Según (Albuja, y otros, 2016), los dos principales métodos del cálculo por M.E.F son:

- *Método implícito*, que requieren resolver a cada paso de tiempo un sistema de ecuaciones, aunque pueden usarse pasos de tiempo más largos.
- *Método explícito*, que no requieren resolver un sistema de ecuaciones a cada paso de tiempo, aunque debido a que la convergencia no siempre está asegurada el paso de tiempo debe escogerse convenientemente pequeño.

#### **2.9.4 *Software de diseño y análisis por elementos finitos.***

El análisis de elementos finitos (FEA) es el modelado de productos y sistemas en un entorno virtual, con el propósito de encontrar y resolver potenciales (o actuales) problemas estructurales o de rendimiento. FEA es la aplicación práctica del método de elementos finitos (FEM), que es utilizado por ingenieros y científicos para matemáticamente modelar y resolver numéricamente problemas de complejas estructuras, fluidos y de multifísica. (Albuja, y otros, 2016)

Se debe tener presente que, “el software más utilizado para modelación es el AutoCAD y Solidworks, para el análisis por MEF se lo realiza mediante la utilización del SAP 2000 y Ansys” (Albuja, y otros, 2016).

## CAPÍTULO III

### 3 ANÁLISIS DEL DISEÑO

En este capítulo se encontrara, el diseño de la Estructura Rígida propuesta, la misma que tiene como objetivo “plasmear y precisar toda la información que sea necesaria sobre los detalles de fabricación del producto” (Isaza, 2009).

#### 3.1 Normas INEN a utilizar.

Se debe tener presente que el Proyecto de Investigación se basa en:

a) La Norma NTE INEN 1668, la cual especifica que:

**Denominación:** “Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial. Requisitos.”

Según el Registro Oficial No. 15077, bajo la Administración del Sr. Ec. Rafael Correa Delgado – Presidente Constitucional de la Republica, elaborado en Quito, el 13 de marzo de 2015, a través de la Subsecretaria de la Calidad del Ministerio de Industria y Productividad, resolvió:

- **ARTÍCULO 1.-** Aprobar y oficializar con el carácter de VOLUNTARIA la Primera revisión de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1668 (Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Requisitos), que establece los requisitos que deben cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial.
- **ARTÍCULO 3.-** Esta norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1668 (Primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 1668:1988 y entrará en vigencia desde la fecha de su promulgación en el Registro Oficial.

Dado en Quito, Distrito Metropolitano, 24 de febrero de 2015, por resolución Oficializando la vigencia de la Norma en el 2015-03-13.

b) El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 043:2010, que especifica lo siguiente:

**Denominación:** “Vehículos de Transporte Interprovincial e Intraprovincial.”

Según la Agencia Nacional de Tránsito, la Fecha que entro en Vigencia el Reglamento es: 2010 -12 – 01.

### 3.2 Características dimensionales del chasis SCANIA K360.

Las características dimensionales de una Estructura Rígida según el reglamento INEN RTE 043 para la construcción de buses interprovinciales, a una carga determinada son:

Tabla 18. Características Dimensionales.

Descripción	Especificaciones Técnicas	
	INEN RTE 043 Dimensiones Max.	SCANIA K360
Longitud Total (mm)	13300	12700
Ancho Total (mm)	2600	2475
Voladizo Delantero (mm)	2000 – 3000	2500
Voladizo Posterior (%)	Max 66% distancia entre Ejes.	47.6 %

Elaborado por: Los Autores

Fuente: INEN RTE 043 y SCANIA K360

Para dimensionar la Longitud del Chasis SCANIA K360, se procederá a basarse en el reglamento INEN RTE 043.

El largo total máximo de un vehículo de dos ejes es igual a 13300 mm, el mismo que es dimensionado desde la parte sobresalida del parachoques frontal al posterior.

Los parachoques frontal y posterior no deben sobresalir de la carrocería en más de 300 mm cada uno.

En base a estas consideraciones la longitud del chasis será de  $13300 - 300 \times 2 = 12700$ mm.

Para determinar si el porcentaje del voladizo posterior del chasis SCANIA K360, cumple con el Reglamento RTE 043, se procede a analizar las dimensiones de las longitudes y a calcular el porcentaje del voladizo requerido, de la siguiente manera.

- a) Voladizo Delantero = 2500mm.
- b) Voladizo Posterior = 3290mm.
- c) Longitud Total = 12700mm.

Distancia Entre Ejes = Longitud Total – Voladizo Delantero – Voladizo Posterior

Distancia Entre Ejes = 12 700 mm – 2 500 mm – 3 290 mm

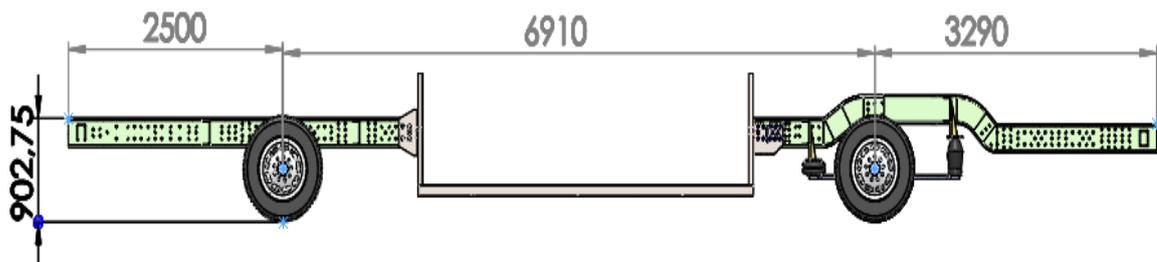
Distancia Entre Ejes = 6 910 mm

$$\% \text{ Voladizo Posterior} = \frac{\text{Vol.Post.} \times 100}{\text{Distancia Entre Ejes}} = \frac{3\,290 \text{ mm} \times 100}{6\,910 \text{ mm}} = 47.6 \%$$

Según (RTE - INEN 043, 2010), indica que la longitud máxima del voladizo posterior debe ser del 66% de las distancias entre ejes, por lo que mediante cálculos se determinó que el porcentaje del Chasis SCANIA K360 es del 47.6%, cumpliendo con lo establecido en el Reglamento.

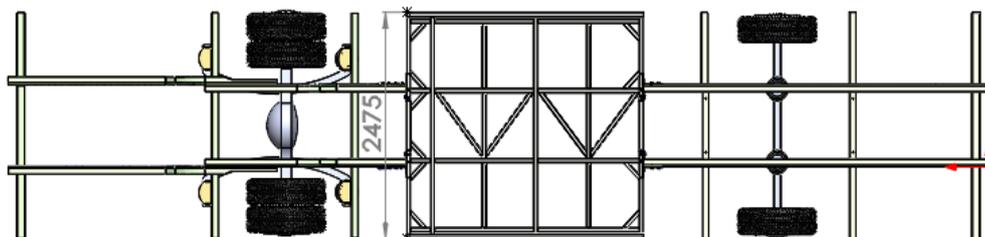
Se determina que la longitud entre ejes es igual al largo total máximo del chasis dimensionado anteriormente, menos las distancias dadas de los voladizos delantero y posterior, los cuales están establecido por el mismo chasis SCANIA K360 y especificado en la Ficha Técnica (Anexo 1).

Figura 34. Dimensiones – Vista Derecha.



Fuente: Los Autores

Figura 35. Dimensiones – Vista Superior.



Fuente: Los Autores

### 3.3 Condiciones de Carga.

Se determinan las condiciones de carga que soporta una estructura rígida para el servicio de transporte de pasajeros.

### 3.3.1 Cálculo de cargas de diseño según la norma.

Se procede a determinar las cargas actuantes en la estructura rígida propuesta, las cuales están normalizadas, por lo que se especifican los métodos de cálculos y valores obtenidos, los mismos que son:

#### 3.3.1.1 Cargas Vivas (NTE INEN 1323, 2009).

##### a) Cargas Vivas de Pasajeros.

Para efecto de cálculo se toma en cuenta la carga originada por el peso de los pasajeros, tripulante y chofer. Teniendo presente que este Transporte Interprovincial, tendría la capacidad para transportar a pasajeros que vayan sentados y de pie, la Carga Viva de pasajeros, sería repartida tal como se indica en el **Anexo 2**.

Para realizar una correcta distribución de los pasajeros sentados y de pie se utilizará las normas y reglamentos vigentes. Por lo que según la (RTE - INEN 043, 2010), indica que los asientos deben tener las siguientes dimensiones mínimas:

Tabla 19. Características Dimensionales de los Asientos.

Descripción	RTE INEN 043 Dimensiones Max.
Profundidad Mínima del Asiento (mm)	450
Ancho Libre Mínimo del Asiento (mm)	450
Distancia entre Asientos Mínima (mm)	750
Distancia Mínima del Asiento a la Mampara (mm)	400

Fuente: (RTE - INEN 043, 2010)

Una vez detallado las dimensiones y las distancias entre asientos según él (RTE - INEN 043, 2010), se determina que el chasis abarcaría 49 asientos, por lo que el número de pasajeros sentados sería de 49 (**Anexo 2**).

Para determinar el número de pasajeros parados, se debe conocer el Área del Corredor disponible el mismo que tiene un Ancho de 425 mm y una Longitud de 10085 mm, por

lo que según el Reglamento (RTE - INEN 043, 2010), el Ancho mínimo del Corredor debe ser de 350 mm en las partes Interiores, por lo que se puede concluir que si se cumple la Norma planteada en el Reglamento.

Para obtener el número de pasajeros que irían parados se determina de la siguiente forma:

- Área del Corredor =  $10.085 \times 0.425 = 4.286 \text{ m}^2$  (**Anexo 2**).
- Según la Norma INEN 1323, el espacio que ocupa una persona es de  $0.16 \text{ m}^2$

$$\text{Los Pasajeros que irían de Pie sería} = \frac{4.286 \text{ m}^2}{0.16 \frac{\text{m}^2}{\text{persona}}} = 26.79 \approx 26 \text{ pasajeros.}$$

Una vez determinado el número de pasajeros sentados y parados que irían sobre el chasis, se determina que la Carga Viva de Pasajeros.

Tabla 20. Capacidad de Pasajeros.

Descripción	Capacidad	Masa de un Ocupante (Kg)	Masa Ocupante Total (Kg)
Pasajeros Sentados (Anexo 2)	49	70	3430
Pasajeros de Pie (Anexo 2)	26	70	1820
Tripulante	1	70	70
Chofer	1	70	70
Total (Personas)	77		5390

Fuente: Los Autores

Por lo que la Carga Viva Total originada por el Peso de los pasajeros, tripulante y chofer es igual a, 5390 Kg.

b) *Carga Viva de Bodegas.*

Según la Norma INEN 1323 especifica que, en el transporte interprovincial se calcula la carga viva de las bodegas, en base al volumen de las bodegas multiplicado por cien como se detalla en la Norma:

Tabla 21.Cargas Vivas de Bodegas.

<b>Tipo de Servicio</b>	<b>Masa de un Ocupante (kg)</b>	<b>Masa Mínima de Equipaje de mano por pasajero (Kg)</b>	<b>Masa Mínima de Equipaje a Transportarse en Bodegas Porta Equipajes (kg)</b>	<b>Espacio Necesario por Pasajero de Pie (<math>m^2</math>)</b>
Urbano	70	-	-	0.16
Urbano (Escolar e Institucional)	70	-	-	Sin Pasajeros de Pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol.	0.16
Larga Distancia (Interprovincial y Turismo)	70	5	100 x Vol.	Sin Pasajeros de Pie

Fuente: (NTE INEN 1323, 2009 pág. 5)

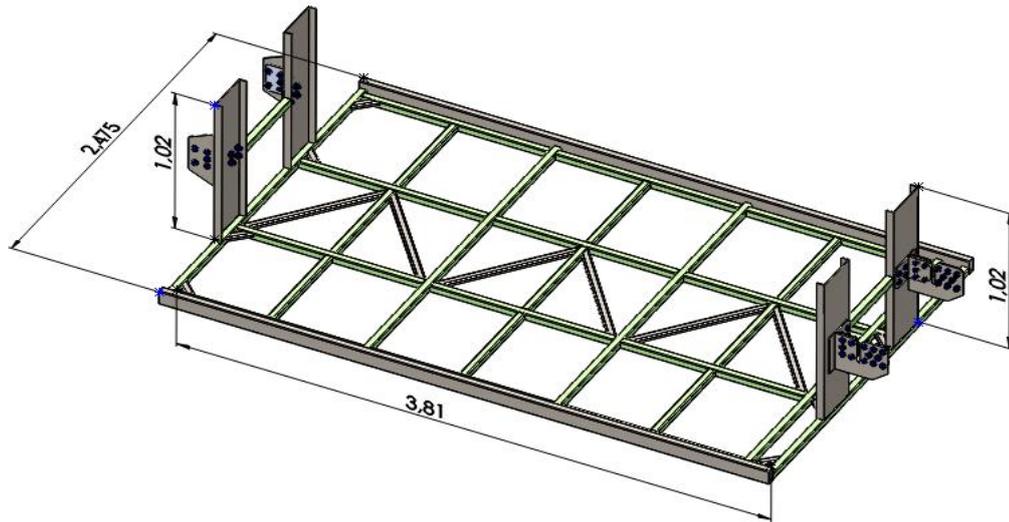
Tabla 22: Cargas de Equipaje.

<b>Descripción</b>	<b>Cajuela</b>
Largo (m)	3.81
Altura (m)	1.02
Área (m <sup>2</sup> )	3.89
Profundidad (m)	2.475
Volumen (m <sup>3</sup> )	9.62775
Peso (kg)	962.78

Fuente: Los Autores

El Bastidor Central será capaz de soportar una Carga Total de 962.78 Kg.

Figura 36. Dimensiones de la estructura rígida.



Fuente: Los Autores

### 3.3.1.2 Carga de Giro ( $G$ ) (NTE INEN 1323, 2009).

Se debe tener presente que según las Normas INEN, la Carga de Giro “debe calcularse en función de la Fuerza Centrífuga que se genera al ingresar el Vehículo en una curva de determinado Radio de Giro a cierta velocidad” (NTE INEN 1323, 2009 pág. 5).

La Velocidad a considerar para realizar el cálculo es de 120 Km/h, en vista que según datos proporcionados por la Policía Nacional del Ecuador “existen buses interprovinciales que sobrepasan esta Velocidad, cuando el Límite Normal permitido es de 90 Km/h en carretera” (Los Ríos-DNCE, 2016).

Según la (NTE INEN 1323, 2009), indica además que, para calcular la carga de giro, se debe basar en el Peso Total del Bus a plena carga.

Tabla 23. Capacidades Técnicas.

Capacidad Eje Delantero Scania (Kg)	7500
Capacidad Eje Trasero Scania (Kg)	12000
Peso Bruto Vehicular (P.B.V) (Kg)	19500

Fuente: (Scania K 360 IB4X2 Euro V, 2015)

El Peso Total del Bus a plena carga es igual al Peso Bruto Vehicular que es de 19500 Kg (Anexo 3).

Tabla 24. Velocidades, Radios Mínicos y Perales en Carretera.

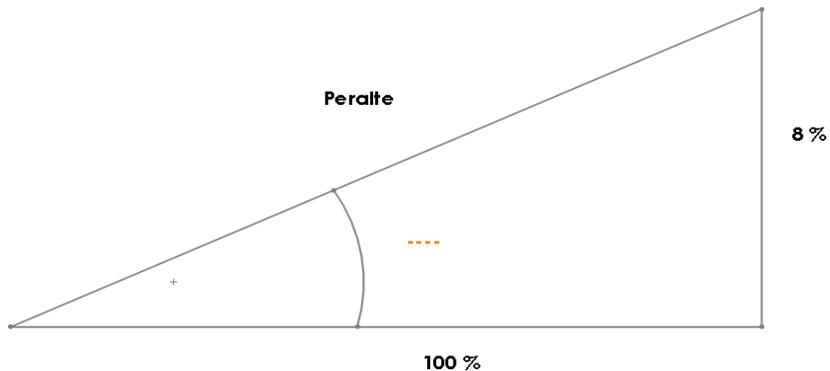
Velocidad (del Vehículo) (Km/h)	Radio de Curvatura de la Carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	8
90	350	8
95	400	8
100	450	8
105	500	8
110	550	8
115	600	8
120	700	8

Fuente: (NTE INEN 1323, 2009)

Según lo expuesto anteriormente se define que la Velocidad Crítica considerada es de 120 Km/h, por lo que el Radio de Curvatura de la Carretera es de 700 m y el Porcentaje del Peralte es del 8%.

Una vez definido estos datos se procede calcular el Angulo del Peralte.

Figura 37. Ángulo del Peralte.



Fuente: Los Autores

$$tg\alpha = \frac{8\%}{100\%}$$

$$\alpha = 4.57^\circ$$

$$v = 120 \frac{Km}{h} * \frac{1000 m}{1 Km} * \frac{1 h}{3600 s} = 33.33 \frac{m}{s}$$

Para calcular la Carga de Giro, tenemos la siguiente ecuación:

$$Carga\ de\ Giro\ (CG) = P_{Determinado} * \frac{v^2}{r} + P_{Calculado} * Sen(\alpha_{Peralte}) \quad Ec3$$

Donde:

- CG = Carga de Giro =?
- $P_{Determinado}$  = Peso Bruto Vehicular = 19500 Kg, (Scania K 360 IB4X2 Euro V, 2015).
- $v$  = Velocidad = 120 Km/h = 33.33 m/s. (Los Ríos-DNCE, 2016).
- Radio de Curvatura de la Carretera (m) = 700 m, (NTE INEN 1323, 2009).
- $\alpha_{Peralte}$  = Ángulo del Peralte = 4.57 °, (Norma.3.1-IC, y otros, 2001).

Por lo que la Carga de Giro es:

$$Carga\ de\ Giro\ (CG) = 19500\ Kg * \frac{\left(33.33 \frac{m}{Seg}\right)^2}{700\ m} + 19500\ Kgf * Sen(4.57)$$

$$Carga\ de\ Giro\ (CG) = 30946.2\ N + 1553.7\ Kgf$$

$$Carga\ de\ Giro\ (CG) = 30946.2\ N * \frac{1\ Kgf}{9.81\ N} + 1553.7\ Kgf$$

$$Carga\ de\ Giro\ (CG) = 3154.6\ Kgf + 1553.7\ Kgf$$

$$Carga\ de\ Giro\ (CG) = 4708.3\ Kgf$$

### 3.3.1.3 Carga de Frenado (F) (NTE INEN 1323, 2009).

Según el (NTE INEN 1323, 2009), indica que la desaceleración se guía en base al Cuadro recomendado por el Ensayo del Tipo 0 con motor embragado para Vehículos Clase N de la DIRECTIVA 98/12/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, Anexo 2, Ensayos de frenado y rendimiento de los dispositivos de frenado, la misma que dice que:

La Comisión Europea indica que los frenos de servicio de los vehículos de las categorías M y N se probarán en las condiciones indicadas en el cuadro siguiente:

Tabla 25. Condiciones de los frenos de servicio de los vehículos de las categorías M y N.

Tipo de Ensayo		$M_1$ 0-I	$M_2$ 0-I	$M_3$ 0-I-II/IIA	$N_1$ 0-I	$N_2$ 0-I	$N_3$ 0-I-II/IIA
Ensayo del tipo 0 con el motor desembragado	velocidad prescrita	80 km/h	60 km/h	60 km/h	80 km/h	60 km/h	60 km/h
	$S \leq$	$0.1v + \frac{v^2}{150}$	$0,15v + \frac{v^2}{130}$				
	$dm \geq$	$5.8 m/s^2$	$5 m/s^2$				
Ensayo del tipo 0 con el motor embragado	$v = 80 \% v_{m\acute{a}x}$ pero $\leq$	160 km/h	100 Km/h	90 km/h	120 km/h	100 km/h	90 km/h
	$S \leq$	$0.1v + \frac{v^2}{130}$	$0,15v + \frac{v^2}{103,5}$				
	$dm \geq$	$5 m/s^2$	$4 m/s^2$				
	$F \leq$	500 N	700 N				

Fuente: (BANGEMANN, 1998)

Donde:

- $v$  = Velocidad de ensayo en km/h
- $s$  = Distancia de frenado en m
- $dm$  = Desaceleración media estabilizada a la velocidad normal de motor
- $F$  = Fuerza ejercida sobre el pedal del freno
- $V_{m\acute{a}x}$  = Velocidad máxima del Vehículo.
- Categoría M = Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el Transporte de Personas y su Equipaje. (Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España, 2012)
- Categoría N = Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el Transporte de Mercancías. (Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España, 2012)

“Se debe especificar además que la Categoría N, es utilizada para Vehículo cuya masa máxima sea superior a 12 Toneladas, mientras que la M es usada cuya masa máxima sea superior a 5 toneladas” (Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España, 2012).

Por lo que la desaceleración con que se trabajaría de acuerdo al Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN y a las Comunidades Europeas, para Vehículos Clase N, a una Velocidad determinada y especificada anteriormente como es  $33,33 \frac{m}{s}$ , con Motor Embragado, es igual ha  $4 \frac{m}{s^2}$

Por lo que para calcular la Carga de Frenado se debe considerar que:

- $P_{\text{Determinado}} = \text{Peso Bruto Vehicular} = 19500 \text{ Kg}$ , (Scania K 360 IB4X2 Euro V, 2015).
- Aceleración de la Gravedad =  $9.81 \frac{m}{s^2}$
- Desaceleración media =  $4 \frac{m}{s^2}$

$$\text{Carga de frenado} = \frac{P_{\text{Calculado}} * dm}{g} \quad \text{Ec4}$$

$$\text{Carga de frenado} = \frac{19500 \text{ Kg} * 4 \frac{m}{s^2}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 7951.07 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga de Frenado} = F_f = 7951.07 \text{ Kg.}$$

#### 3.3.1.4 Carga de Aceleración Brusca ( $A_b$ ) (NTE INEN 1323, 2009).

Según las Normas, la Carga de Aceleración Brusca ( $A_b$ ), se “determina con el mismo criterio de la carga de frenado, pero en Sentido Contrario” (NTE INEN 1323, 2009 pág. 6).

$$\text{Carga de Aceleración Brusca } (A_b) = -\text{Carga de Frenado} \quad \text{Ec5}$$

$$F A_b = - 7 951.07 \text{ Kg.}$$

#### 3.3.1.5 Carga por Resistencia del Aire Frontal ( $Raf$ ) (NTE INEN 1323, 2009).

Según las Normas INEN, “se aplicará como la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal” (NTE INEN 1323, 2009 pág. 6).

Como el proyecto de investigación se basa en el “diseño y análisis de una estructura rígida para montaje en un chasis cama baja”, no se toma en cuenta este tipo de carga, especificando que la misma es nula.

### 3.3.2 *Estados de Combinaciones de Cargas.*

Se debe tener presente que las Cargas actuantes en Condiciones Críticas son:

- Peso del Bus – Muerta (D)
- Peso de Ocupantes – Live (V)
- Carga de Viento – Wind (Raf)
- Carga de Frenado – Break (F)
- Carga de Giro (G)
- Carga de Aceleración Brusca – Live (Ab)

La combinación de Carga sometidas al Diseño se encuentra en concordancia a la Norma 1323 vigente, bajo el método LRFD (Load Resistance Factor Design), donde se especifica que:

- $1,4M + V$
- $1,2M + 1,6V + 0,5G$
- $1,2M + 0,5V + 1,6G$
- $1,2M + 1,6F + 0,8Raf$
- $1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3Raf$
- $1,2M + 1,5Ab + 0,5V$
- $0,9M - 1,3Raf$
- $0,9M + 1,3Raf$

#### 3.3.2.1 *Carga Muerta (NTE INEN 1323, 2009).*

Para determinar la Carga Muerta Máxima, hay que tener en cuenta que la misma es el Peso Bruto Vehicular de la Carrocería sin Chasis y sin Carga Viva por lo que hay que tener en cuenta que:

$C_{Muerta} = \text{Carga del Peso Bruto Vehicular} - \text{Carga del chasis} - \text{Carga Viva Personas} - \text{Carga Viva de Bodegas.}$

Dónde:

Ec. 6

- Carga del Peso Bruto Vehicular = 19500 Kg, (Scania K 360 IB4X2 Euro V, 2015)
- Carga del chasis = 6013 Kg.
- Carga Viva de Personas = 5390 Kg.
- Carga Viva de Bodegas = 962.78 Kg.

Según (ECUABUS, 2013), indica que el Chasis “Scania K310 posee un Peso de 5825 Kg, mientras que el Scania K380 tiene un Peso de 6013 Kg”.

Para efecto de cálculo se tomará en cuenta la Carga originada del Chasis Scania K 380 con una carga de 6013 Kg, por ser la mayor.

Por lo que la Carga Muerta es:

$$C_{\text{Muerta}} = 19500 \text{ Kg} - 6013 \text{ Kg} - 5390 \text{ Kg} - 962.78 \text{ Kg}$$

$$C_{\text{Muerta}} = 7134.22 \text{ Kg}$$

$C_m = 7\ 134.22 \text{ Kg.}$
-------------------------------

### **3.4 Estructuración de la fase de diseño.**

Según (Riba, 2002), indica que Yoji Akao, definió una serie de matrices para guiar el proceso de la función de calidad en cada fase del desarrollo de un producto, como la planificación del producto, despliegue de componentes, planificación del proceso y de la producción; representándose por una matriz cuyas características de diseño aportan las especificaciones de entrada a la matriz siguiente en secuencia.

### **3.5 Casa de la calidad.**

Para la definición de la estructura rígida se efectúa un estudio de alternativas para conocer los parámetros, que deberá poseer el producto final para que pueda cumplir con todas sus demandas. (Riba, 2002)

#### **3.5.1 QFD (Función de la calidad)**

Determina cuales son los requerimientos técnicos de la estructura rígida lo cual permite establecer las características lo cual sirve como objetivo principal unir las necesidades del cliente para poder planificar el éxito del producto durante su uso (Riba, 2002)

#### 3.5.1.1 *Paso 1 y 2 (Voz del Usuario)*

De acuerdo a las consideraciones ofertadas por el usuario, el sistema debe tener las siguientes características, las mismas que son:

- Los materiales deben de ser de fácil adquisición, los mismos que se puedan localizar en el Mercado Local y Nacional.
- Los costos de los materiales deben encontrarse al alcance de los usuarios.
- El Sistema debe de ser fácil de construir por no disponer de mucho tiempo.
- La estructura rígida debe ser de fácil ensamblaje ya que no se prevería de mucho tiempo.
- Los costos de fabricación deben se aceptables, encontrándose al alcance de los usuarios.
- El sistema debe de estar compuesto de elementos que sean durables.
- Se debe tener presente que al sistema debe darse un mantenimiento mínimo.
- Los componentes que conforman el sistema deben ser de materiales resistentes que soporten las cargas a las que estarían sometidas.
- El material debe de ser resistente a la corrosión ya que el sistema contribuye, a un componente que estaría en constante funcionamiento o movimiento.
- Finalmente, el sistema debe ser de fácil limpieza para el usuario.

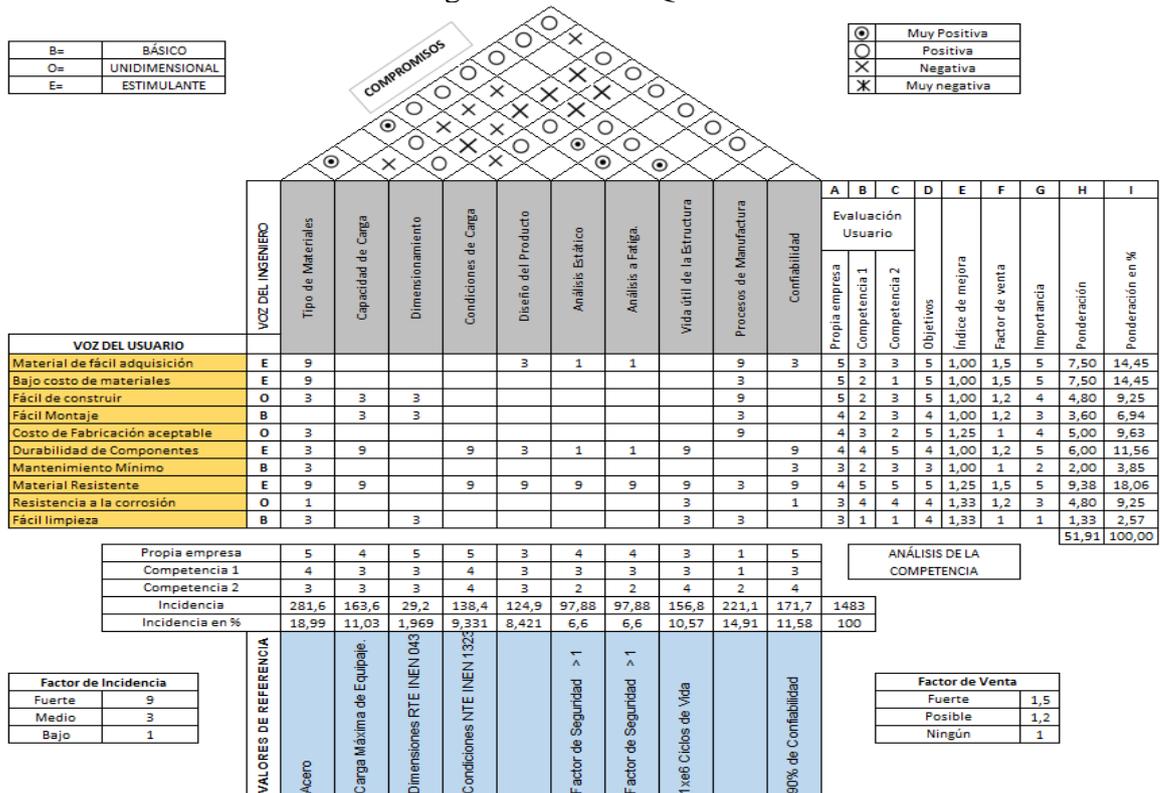
#### 3.5.1.2 *Paso 3,4 y 5 (Voz del Ingeniero).*

De acuerdo a las consideraciones que se deberían tomar en cuenta por parte del Ingeniero son las siguientes:

- Tipo de materiales acorde a las consideraciones solicitadas por el usuario y al diseño establecido como es el Acero.
- La capacidad de carga, es un factor muy importante, a tomarse en cuenta para proceder a realizar el diseño del producto, el mismo que debería soportar la carga máxima de equipaje previsto.

- El dimensionamiento es otra consideración importante que se debe tomar en cuenta, para lo cual se debe cumplir con las Normas dadas por el RTE INEN 043.
- La condición de carga a tomarse en cuenta es muy importante, para proceder a realizar un diseño óptimo, con materiales aceptables, los mismos que se encuentran normados en la NTE INEN 1323.
- El diseño en si del producto es muy importante, ya que el mismo abarca todos los parámetros que se están tomando en consideración, resaltando los solicitados por el usuario.
- El análisis estático debe establecer un factor de Seguridad > 1, para garantizar el buen funcionamiento del Sistema diseñado.
- El análisis a fatiga al igual que el estático, es un factor muy importante, ya que el mismo debe establecer un factor de Seguridad > 1, para garantizar el buen funcionamiento del Sistema diseñado.
- El sistema debe contener una vida útil de 1xe6 ciclos de vida.
- Los procesos de manufactura del sistema son parámetros muy importantes para poder procesar en orden la fabricación del producto.

Figura 38. Matriz QFD



Elaborado por: Los Autores  
Fuente: (Riba, 2002)

Parámetro importante dentro del análisis de la matriz, es el índice de mejora el que se calcula de la siguiente manera con su respectiva ecuación.

$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Propia empresa}} \quad \text{Ec.7}$$

Otro parámetro importante en el análisis de la matriz es la ponderación y se calcula de la siguiente manera con su respectiva ecuación.

$$\text{Ponderación} = \text{Índice de mejora} * \text{Factor de venta} * \text{Importancia} \quad \text{Ec. 8}$$

3.5.1.3 *Conclusión de la matriz QFD.* Finalizado la matriz se obtiene los parámetros técnicos que deberá cumplir el producto para satisfacer las especificaciones indicadas detallando los parámetros de mayor incidencia.

- Tipo de Material
- Factibilidad de Manufactura
- Confiabilidad
- Capacidad de Carga
- Tiempo de Vida
- Cumplimiento de Normas

#### 3.5.1.4 *Especificaciones Técnicas de la estructura rígida*

Tabla 26. Especificaciones Técnicas de la estructura rígida

<b>Cliente:</b> Anónimo		<b>Pieza o producto:</b> Estructura rígida		<b>Fecha:</b> 2016-09-05
<b>Encargado:</b> Gusqui Danny, Wilson Agualongo			<b>Revisó:</b> Ing. Edwin Pozo	
<b>Parámetros</b>	<b>Fecha</b>	<b>Sugerir</b>	<b>C/T</b>	<b>Descripción</b>
Función		D	R	Acoplamiento al chasis K360
		C	R	Transporte de pasajeros y equipaje
Dimensiones		D	R	Cumplimiento norma
		D	D	Mayor capacidad de pasajeros sobre el chasis
Materiales		D	D	Acero A36
Fabricación y Montaje		C	D	Tecnología existente en el país.
		D	D	De fácil montaje

Tabla 26. (Continuación) Especificaciones Técnicas de la estructura rígida

Vida útil y mantenimiento		D C	D D	Clico de vida infinito Fácil mantenimiento
Seguridad y ergonomía		C C	D D	Mayor confort al usuario Mayor confiabilidad
Aspectos legales		D	R	Cumplimiento norma
Sugerir: C= Cliente, D = Diseño, F = Fabricación. Característica técnica (C/T): R = Requerimiento; D = Deseo				

Fuente: Autores

### 3.6 Características de los componentes para el diseño.

#### a) *Largo Total del Vehículo.*

Se debe tener presente que el Largo Total del vehículo debe cumplir con lo establecido a continuación:

Tabla 27. Largo Total del Vehículo.

Tipo de vehículo	Número de ejes	Largo total mm
Bus	De dos ejes	10250 a 13300
Bus	De tres ejes o más	10250 a 15000
Minibús	De dos ejes	Máximo 10000

Fuente: (NTE INEN 1668, 2015)

#### b) *Ancho total del Vehículo.*

“La carrocería del bus y minibús no debe sobresalir en más de 75 mm a cada lado con respecto al ancho máximo del chasis, el ancho máximo del vehículo debe ser 2600 mm medidos en las partes más salientes de la estructura” (NTE INEN 1668, 2015).

#### c) *Altura total del Vehículo.*

La altura total máxima de los vehículos referidos a la Norma dice que:

Tabla 28. Altura Total Máxima.

Tipo de vehículo	Altura total máxima
Bus	3800 mm
Minibús	3300 mm

Fuente: (NTE INEN 1668, 2015)

Se debe tener en cuenta además que “la medición de la altura total del vehículo debe realizarse entre la calzada y el techo de la carrocería, sin tomas de ventilación superior” (NTE INEN 1668, 2015).

d) *Voladizo delantero y posterior.*

Los voladizos delantero y posterior deben cumplir lo establecido a continuación.

Tabla 29. Voladizo delantero y Posterior.

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Voladizo delantero mm</b>	<b>Voladizo posterior máximo</b>
Bus	2000 a 2900	66 % de la distancia entre ejes
Minibús	800 a 2400	66 % de la distancia entre ejes

Fuente: (NTE INEN 1668, 2015)

Según la (NTE INEN 1668, 2015), indica que:

- El voladizo delantero se mide entre el eje delantero y el extremo final de la carrocería frontal.
- El voladizo posterior se mide entre el eje trasero y el extremo final de la carrocería posterior.

### **3.6.1 *Material a utilizar en la construcción de la estructura rígida.***

Se seleccionó el Acero ASTM A36 y ASTM A500, los cuales cumplen con lo establecido y requerido, como las propiedades químicas, buena resistencia a la oxidación, corrosión, buena elasticidad, resistente al desgaste, buena tenacidad, buena maleabilidad y soldabilidad. Este material es de fácil adquisición ya que se encuentra fácilmente a nivel local, provincial y nacional, son económicos y muy comerciales.

### **3.6.2 *Perfiles para la estructura rígida.***

Definido el material se procede a seleccionar perfiles de acero de alto límite elástico.

- **Tubo cuadrado 50x50x3**, ligeros y estructurales, que por su forma cerrada y bajo peso presentan un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo; facilidad de montaje, permitiendo la realización de uniones simples por soldadura; superficies exteriores reducidas, sin ángulos vivos ni rebabas, permitiendo un fácil mantenimiento y protección contra la corrosión. (Yanez, 2015)
- **Tubo rectangular 100x50x3**, al igual que los tubos cuadrados los rectangulares presentan un buen comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo

por su forma cerrada; facilidad de montaje, permiten la realización de uniones simples por soldadura; superficies exteriores reducidas, sin ángulos vivos ni rebabas, permitiendo un fácil mantenimiento y protección contra la corrosión; por lo que se emplean generalmente en la fabricación de vigas y columnas. (Yanez, 2015)

- **Perfil Tipo C 50x25x2**, son materiales de fácil instalación, muy versátiles y flexibles, utilizados en estructura de soporte liviano, compatibles con cualquier material, son soluciones ligeras para aplicaciones como soportes o elementos secundarios de una estructura. (Taípe, 2014).
- **Plancha Metálica de Acero ASTM A36**, son materiales de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles; utilizados para la construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general. (Otero, 2015)

### **3.6.3 Tipo de unión de la estructura rígida.**

Las uniones para el proceso de construcción de la estructura rígida son:

#### **a) Uniones soldadas.**

*Soldadura por arco eléctrico (MIG-MAG)*; es el más utilizado en estructuras metálicas, por ser un proceso de soldeo por calor, en el cual el calor necesario es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar, siendo su principal ventaja el no tener que cambiar el material de aporte, pudiendo realizarse soldaduras largas sin que existan empalmes entre los cordones y sin tener la necesidad de eliminar la escoria, puesto que no existe.

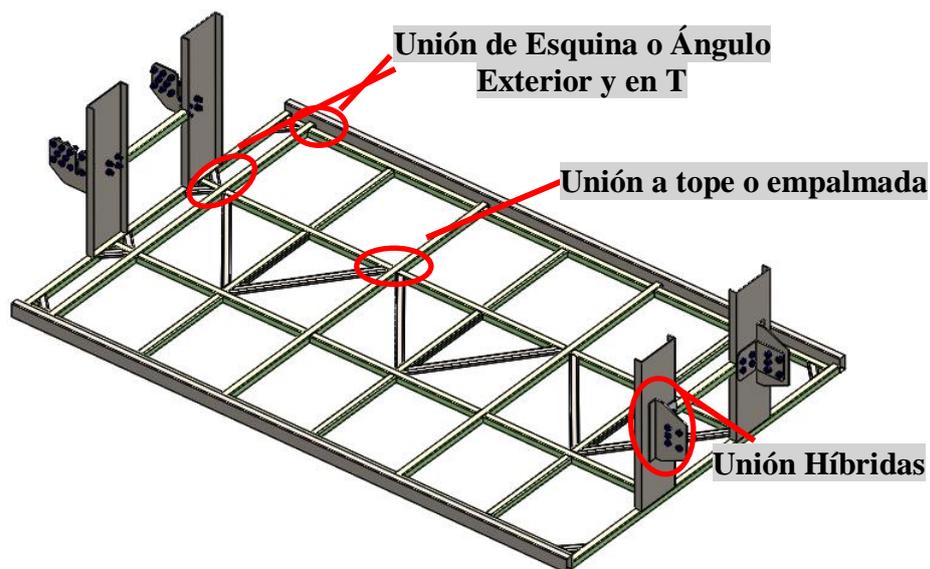
- **Unión a tope o empalmada**, que es la más utilizada y consiste en unir las chapas situadas en el mismo plano, consiguiendo una penetración completa que constituya una transición lo más perfecta posible entre los elementos soldados.” (Federación de Enseñanza, 2010)

- **Unión de Esquina o Ángulo Exterior y en T**, las soldaduras de ángulo o filete pueden ser sencillas o dobles y continuas o intermitentes en ángulo de esquina o en solape” (Federación de Enseñanza, 2010).

#### b) Uniones Híbridas con Tornillos y Soldadura.

Las uniones híbridas se caracterizan porque colaboran dos o más medios de unión, para transmitir un determinado esfuerzo entre dos piezas distintas” (Gobierno de España, 2012).

Figura 39. Tipos de Uniones en la Estructura Rígida.



Fuente: Los Autores

#### 3.6.4 Sujetadores para la estructura rígida en el chasis.

Los sujetadores a utilizar en la estructura rígida son los roscados, en vista que estos permiten el fácil ensamblaje y desmontaje; y están constituidos por:

- **Pernos.** “Sujetador con rosca externa que se inserta a través de orificios en las partes y se asegura con una tuerca en el lado opuesto” (Shigley, y otros, 2008).
- **Tuercas.** “Sujetador con rosca interna que coincide con la de perno del mismo diámetro, paso y forma de rosca” (Shigley, y otros, 2008).

Para obtener una seguridad de que los pernos van a resistir, la fuerza de sujeción es igual al doble de la fuerza producida en la estructura rígida más la carga originada de la misma.

Fuerza de Sujeción = 2\*(Fuerza Ejercida en la Estructura Rígida + Fuerza Originada de la Estructura Rígida)

$$\text{Fuerza de Sujeción} = 2*(962.78 \text{ Kgf} + 316.96 \text{ Kgf}) = 2\,559.48 \text{ Kgf.} = 25099.92 \text{ N}$$

Para asegurarse que el Perno seleccionado va resistir, la carga admisible a la que se somete el perno sería del 50 % de la Resistencia de prueba.

$$\sigma_a = 0.50 \text{ Res}_{pr}$$

Tabla 30. Grado Métrico de Aceros para Pernos.

Grado	Tamaño del Perno	Resistencia a la Tensión (MPa)	Resistencia a la Fluencia (MPa)	Resistencia de Prueba (MPa)
4.6	M5 – M36	400	240	225
4.8	M1.6 - M16	420	340	310
5.8	M5 - M24	520	415	380
8.8	M17 – M36	830	660	600
9.8	M1.6 – M16	900	720	650
10.9	M6 – M36	1040	940	830
12.9	M1.6 – M36	1220	1100	970

Fuente: (Mott, 2006 pág. 716)

Los pernos seleccionados serían de Acero grado 5.8, por poseer orificios en el chasis de 20mm de diámetro para poder sujetar la Estructura Rígida.

$$\sigma_a = 0.50 * (380 \text{ MPa}) = 190 \text{ MPa} = 190 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

El Área requerido para el Esfuerzo de Tensión para el perno es:

$$A_t = \frac{\text{Carga}}{\sigma_a} = \frac{25\,099.92 \text{ N}}{190 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 132.10 \text{ mm}^2$$

Tabla 31. Dimensiones de Roscas Estándar American.

Diámetro mayor básico (mm)	Roscas Gruesas		Roscas Finas	
	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión ( $mm^2$ )	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión ( $mm^2$ )
1	0.25	0.460		
1.6	0.35	1.27	0.20	1.57
2	0.4	2.07	0.25	2.45
2.5	0.45	3.39	0.35	3.70
3	0.5	5.03	0.35	5.61
4	0.7	8.78	0.5	9.79
5	0.8	14.2	0.5	16.1
6	1	20.1	0.75	22.0
8	1.25	36.6	1	39.2
10	1.5	58.0	1.25	61.2
12	1.75	84.3	1.25	92.1
16	2	157	1.5	167
20	2.5	245	1.5	272
24	3	353	2	384
30	3.5	561	2	621
36	4	817	3	865
42	4.5	1121		
48	5	1473		

Fuente: (Mott, 2006 pág. 718)

Una vez determinado el Área del Esfuerzo de Tensión el cual es de  $130 \text{ mm}^2$ , se procede a seleccionar un perno con Rosca Gruesa **M16x2**, el mismo que origina el par torsional de apriete que se establece mediante la siguiente ecuación que es:

$$T = KDP$$

Donde:

- T = Torque, N-m.
- D = Diámetro exterior nominal de las roscas,  $16 \text{ mm} = 0.016 \text{ m}$
- P = Carga de Sujeción, N
- K = Constante que depende de la Lubricación presente.

Según (Mott, 2006), para condiciones comerciales se debe utilizar  $K = 0.15$ .

Una vez señalado los parámetros que intervienen durante el Torque o el Par Torsional de Apriete, se determina que el mismo es:

$$T = KDP = 0.15(0.016\text{ m})(25\,099.92\text{ N}) = 60.24\text{ Nm}.$$

El Perno seleccionado es el **M16x2** el cual tiene las siguientes características:

Tabla 32. Características del Perno M 16x2.

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>
Resistencia a la Tensión (MPa)	520
Resistencia de Fluencia (MPa)	415
Resistencia de Prueba (MPa)	380

Elaborado por: Los Autores

Fuente: (Mott, 2006)

El perno **M16x2**, fue seleccionado siendo el más adecuado, por poseer orificios en el chasis de 18mm de diámetro en donde se debe acoplar la estructura rígida, para lo cual se determinó el perno nombrado con las características especificadas en la Tabla 30.

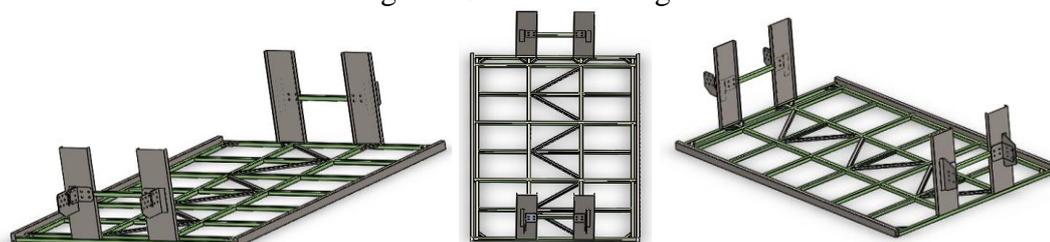
## CAPÍTULO IV

### 4 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA RÍGIDA.

En este capítulo se especifica, el diseño y simulación de la Estructura Rígida propuesta, la misma que tiene como objetivo “plasmear y precisar toda la información que sea necesaria.” (Isaza, 2009).

La geometría asignada a la estructura rígida se apoya directamente en las recomendaciones que indica el manual de carrozar del chasis seleccionado, de esa forma se asegurara el diseño final. (ANEXO 9)

Figura 40. Estructura rígida.



Fuente: Autores

Tabla 33. Análisis y resultados de materiales usados para los tres tipos de diseños.

<b>Materiales más Relevantes a Analizar</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Primer Análisis</b>	<b>Segundo Análisis</b>	<b>Tercer Análisis</b>
Tubo Rectangular (mm)	100x50x3	100x50x2	100x50x3
Tubo Cuadrado (mm)	50x50x3	50x50x1.5	60x60x3
<b>Resultados</b>			
Deformación Total (mm)	1.48	2.97	1.60
Esfuerzos Equivalentes Estático (MPa)	17.168	36.148	19.121
Factor de Seguridad Mínima Estático	3.24	1.54	2.91
Esfuerzos Equivalentes Fatiga (MPa)	17.168	36.148	19.121
Factor de Seguridad Mínimo a Fatiga	1.12	0.53	1.00
Ciclo de Vida Mínimo	1 000 000	724 070	1 000 000

Fuente: Los Autores

Tabla 34. Factor de Seguridad.

<b>Factores de Seguridad para Materiales Dúctiles</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Factor</b>
Diseño de estructuras bajo cargas estáticas con alto grado de confianza	1.25 - 2
Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con confianza promedio	2.0 – 2.5
Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con análisis al ambiente	2.5 – 4

Fuente: (Mott, 2006)

Una vez dados los resultados y descritos los Tipos de Factores de Seguridad de los materiales los cuales se hallan en los **ANEXOS 4 y 5**; se procede a escoger los materiales con mejores resultados que presentan, como son los Materiales dados en el Primer Análisis, por las razones siguientes:

- La Deformación Total que sufrirían los Materiales son de apenas 1.48 mm, el mismo que no es un valor significativo, el mismo que es de menor cantidad en comparación con los otros dos resultados.
- Los Esfuerzos Equivalentes Estático, que sufrirían los Materiales es de 17.168 MPa, el mismo que en comparación con los otros dos resultados es de menor cantidad.
- El Factor de Seguridad es de 3.24 el mismo que según la Tabla 27, se encuentra en el rango requerido, el cual se utiliza para diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con análisis al ambiente.
- Los Esfuerzos Equivalentes a Fatiga, que sufrirían los Materiales es de 17.168 MPa, el mismo que en comparación con los otros dos resultados es de menor cantidad.
- El Factor de Seguridad Mínimo a Fatiga es de 1.12, el mismo que es aceptable por ser mayor que 1.
- El Ciclo de Vida Mínimo y Máximo es de 1 000 000 ciclos, lo que es aceptable, en vista que se puede distinguir que la misma se encuentra en el Rango establecido por la Escala.

#### **4.1 Análisis de esfuerzos en la estructura rígida diseñada.**

*a) Análisis del esfuerzo cortante, de flexión y de desplazamiento en Y; en la viga lateral de la estructura rígida diseñada.*

Se procede a determinar las fuerzas cortantes y momentos que actúan en la viga lateral de la estructura rígida determinada, la cual tiene los siguientes datos:

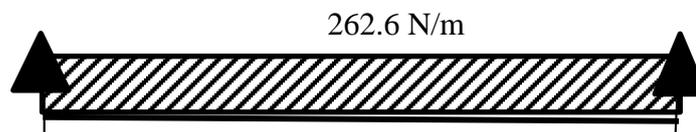
- Tubo Rectangular: 100x50x3
- Carga a soportar en las Bodegas: 962.78 Kg.
- Longitud Total de las Vigas: 35.96 m.
- Longitud de la Viga a Analizar: 3.91 m.
- Fuerza Cortante (V)
- Momento Flector (M)

$$\text{Carga puntual: } \frac{962.78 \text{ Kgf}}{35.96 \text{ m}} = 26.77 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} * 3.91 \text{ m} = 104.7 \text{ Kgf}$$

$$\text{Carga puntual: } = 1026.76 \text{ N}$$

- Carga distribuida: 262.6 N/m.

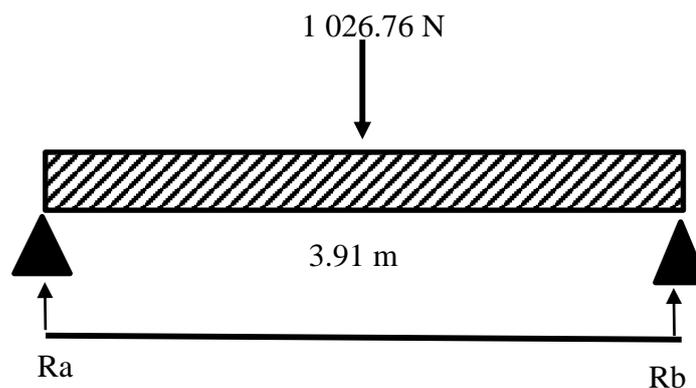
Figura 41. Carga distribuida en la Viga.



Fuente: Los Autores

Para realizar los diagramas de la Fuerza Cortante y Momento Flector se procede a convertir la carga distribuida originada en la Viga, en una carga concentrada puntual, la cual se encuentra en la mitad de la carga nombrada.

Figura 42. Carga Concentrada Puntual en la Viga.



Fuente: Los Autores

- Reacciones:

$$\Sigma M_a = 0$$

$$1026.76 \text{ N} * 1.955 \text{ m} - R_b * 3.91 \text{ m} = 0$$

$$R_b = 513.38 \text{ N}$$

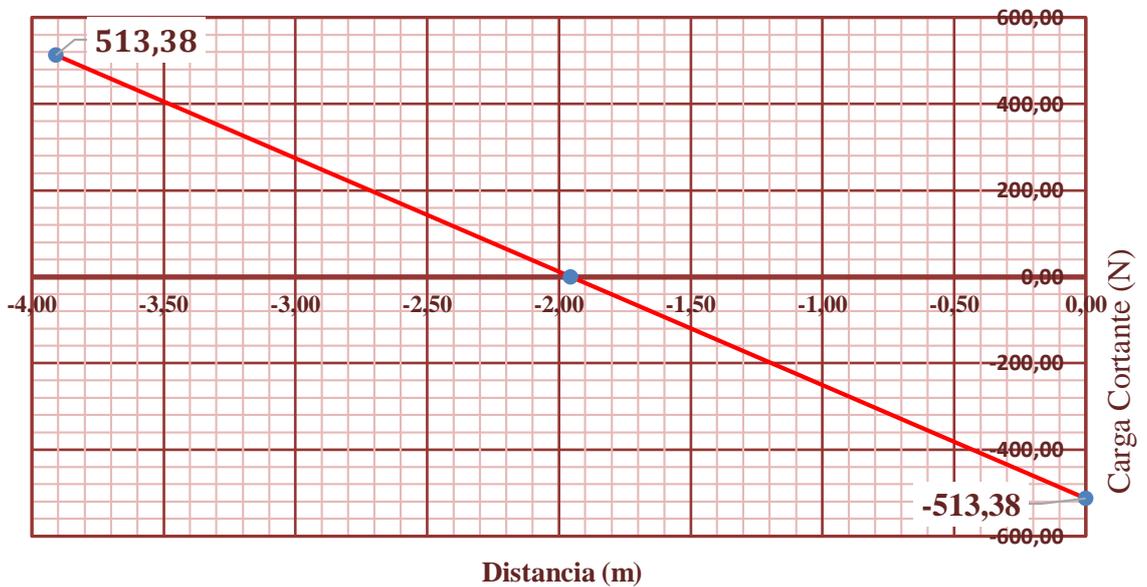
$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_a - 1026.76 \text{ N} + 513.38 \text{ N} = 0$$

$$R_a = 513.38 \text{ N}$$

Procedemos a realizar los diagramas, teniendo presente que la Carga original o inicial es Distribuida.

Figura 43. Diagrama Distancia vs Fuerza Cortante.



Fuente: Los Autores

Según (Shigley, y otros, 2008), para determinar el Momento Flector de una Carga Distribuida, se utiliza la siguiente ecuación, la cual es:

$$M = \frac{qx}{2}(l - x) \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

M = Momento Flector Nm

$$q = \text{Carga Distribuida} = 262.6 \frac{N}{m}$$

$$l = \text{Longitud de la Viga} = 3.91 \text{ m}$$

Por lo que:

$$x = \frac{l}{2} = \frac{3.91 \text{ m}}{2} = 1.955 \text{ m}$$

$$M = \frac{262.6 \frac{N}{m} \times 1.955 \text{ m}}{2} * (3.91 \text{ m} - 1.955 \text{ m}) = 501.83 \text{ N.m}$$

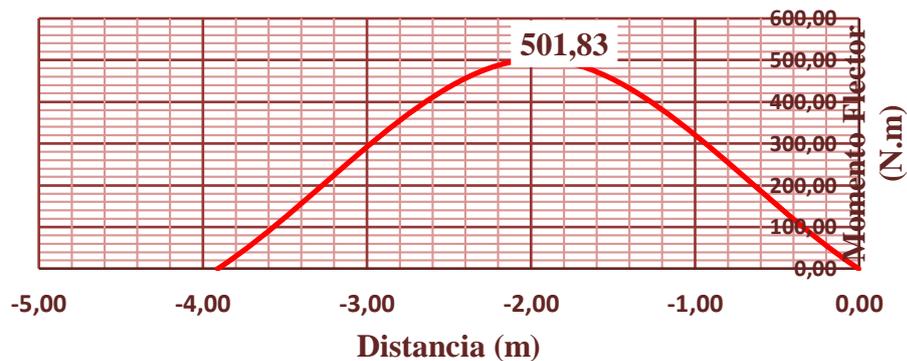
Mediante el Método de Áreas se determina que el Momento es de:

$$M1 = 0$$

$$M2 = 0 + \frac{1.955 \text{ m} * 513.38 \text{ N}}{2} = 501.83 \text{ Nm}$$

$$M3 = 0 + 501.83 - \frac{1.955 \text{ m} * 513.38 \text{ N}}{2} = 0$$

Figura 44. Diagrama Distancia Vs Momento Flector.



Fuente: Los Autores

Una vez definido la Fuerza Cortante (V) y el Momento Flector (M) que actúa en la viga lateral de la estructura rígida; se procede a determinar el Esfuerzo Máximo de Flexión ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ), así como el Cortante ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ) y el Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ( $Y_{m\acute{a}x}$ ), el cual tiene los siguientes datos:

- Tubo Rectangular de 100x50x3.
- Altura Media del Tubo (C): 50 mm = 0.05 m
- Inercia ( $I_x$ ) :  $39.57 \text{ cm}^4 = 0.0000003597 \text{ m}^4$

- Fuerza Cortante (V) = 513.38 N
- Momento Flector (M) = 501.83 Nm
- Área del Tubo (A) = 8.41 cm<sup>2</sup> = 0.000841m<sup>2</sup>
- Carga distribuida (q) = 262.6  $\frac{N}{m}$
- Longitud de la Viga (L) = 3.91m
- Elasticidad (E) = 210 000 000 000  $\frac{N}{m^2}$
- Inercia (I<sub>Y</sub>) : 106.34 cm<sup>4</sup> = 0.0000010634 m<sup>4</sup>
- Esfuerzo de Cortante Máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ): (Shigley, y otros, 2008).
- Esfuerzo de Flexión Máximo ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) : ? (Shigley, y otros, 2008).
- Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima (Y<sub>m\acute{a}x</sub>) : ? (Shigley, y otros, 2008).

Por lo que  $\tau_{m\acute{a}x}$ ,  $\sigma_{m\acute{a}x}$  y Y<sub>m\acute{a}x</sub> son:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{3V}{2A} = \frac{3 \cdot 513.38 \text{ N}}{2 \cdot 0.000841 \text{ m}^2} = 915\,659.93 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.92 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 11}$$

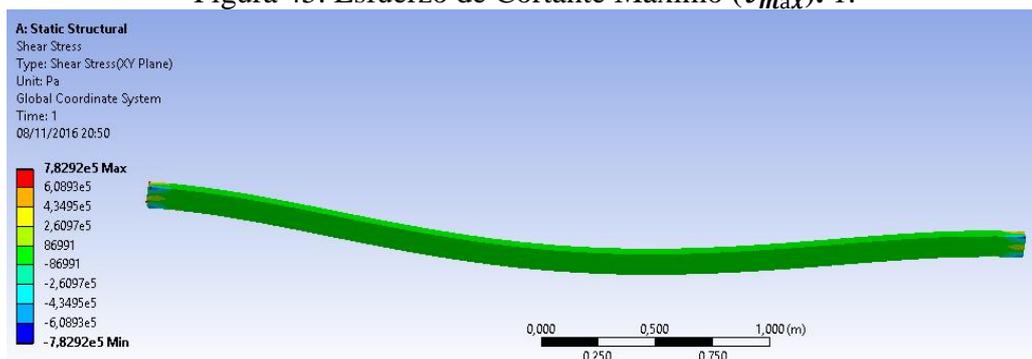
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \pm \frac{MC}{I} = \frac{501.83 \text{ Nm} \cdot 0.05 \text{ m}}{0.0000003597 \text{ m}^4} = \pm 69\,756\,741.73 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \pm 69.76 \text{ MPa}$$

$$Y_{m\acute{a}x} = -\frac{5ql^4}{384EI} = -\frac{5 \cdot 262.6 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (3.91\text{m})^4}{384 \cdot 210\,000\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0.0000010634 \text{ m}^4} = -0.00369 \text{ m} = -3.69 \text{ mm.}$$

Se procede a Analizar las Cargas cortantes, de flexión y de desplazamiento; en la viga lateral de la Estructura Rígida, mediante el uso del Software Ansys; para lo cual se debe agregar el modelo al método MEF, así como elegir el Material, para después seleccionar la Geometría adecuada, las Condiciones de Borde y las Cargas requeridas.

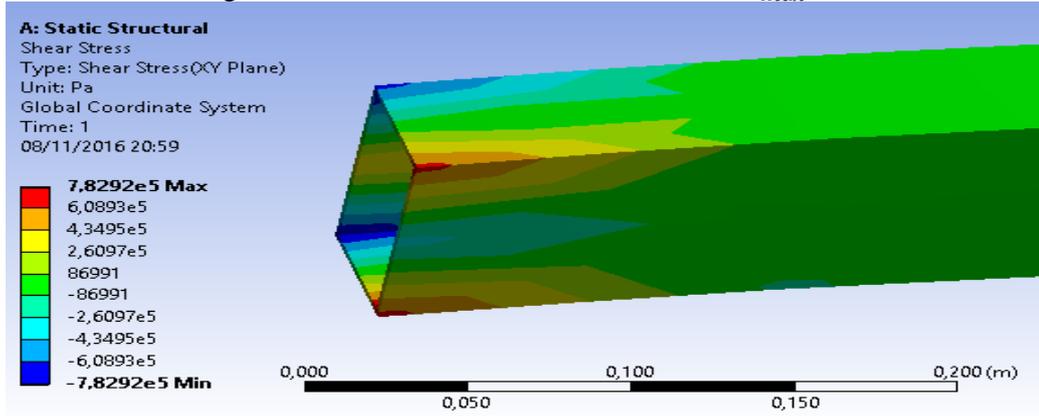
- Esfuerzo Cortante Máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ).

Figura 45. Esfuerzo de Cortante Máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ). 1.



Fuente: Los Autores

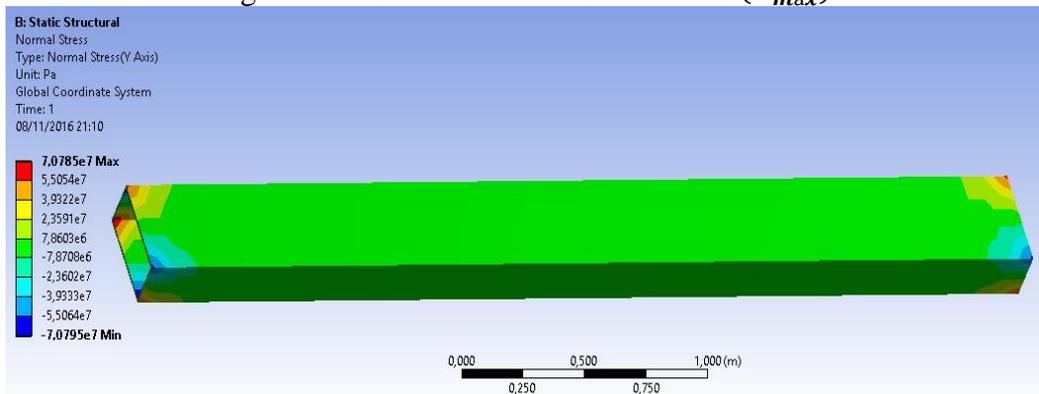
Figura 46. Esfuerzo de Cortante Máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ). 2.



Fuente: Los Autores

- Esfuerzo de Flexión Máximo ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ).

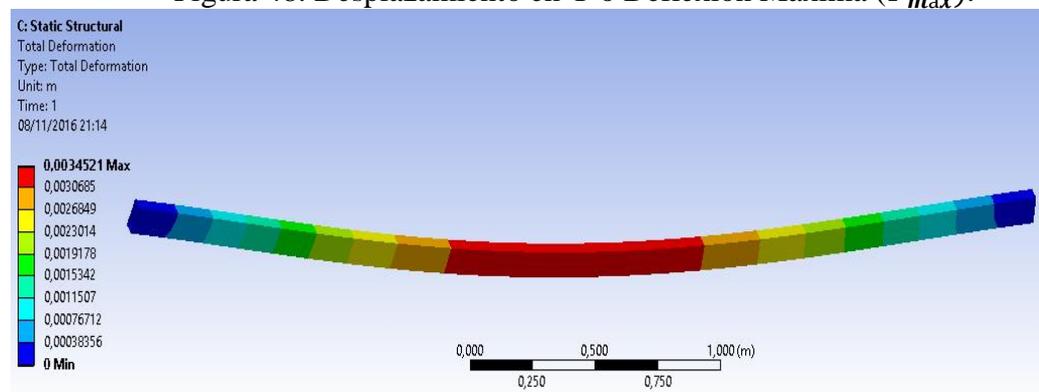
Figura 47. Esfuerzo de Flexión Máximo ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ).



Fuente: Los Autores

- Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ( $Y_{m\acute{a}x}$ ).

Figura 48. Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima ( $Y_{m\acute{a}x}$ ).



Fuente: Los Autores

Una vez realizado el Análisis mediante el Método MEF, se procede a comparar con las Soluciones Analíticas.

Tabla 35. Resultados Analíticos y MEF de la Viga Lateral.

Resultados		
Tubo Rectangular (mm) 100x50x3		
Material: Acero Estructural ASTM A-36		
Características	Resultados Analíticos	Resultados MEF
Esfuerzo de Cortante Máximo, $\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	0.82	0.78
Esfuerzo de Flexión Máximo, $\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	69.8	70.8
Deflexión Máxima, $Y_{m\acute{a}x}$ (mm)	-3.69	-3.45

Fuente: Los Autores

Una vez especificados los Resultados de la Viga Lateral en la Tabla 31, se puede dar por válido los mismos ya que no hay una gran diferencia entre ambos resultados.

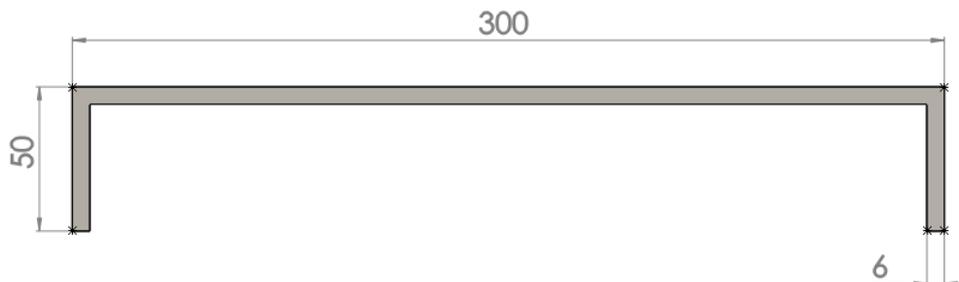
b) *Análisis de la deformación y fuerzas de impacto, en la placa frontal que sujeta la estructura rígida diseñada con el chasis.*

Se procede a determinar la deformación y fuerzas de impacto en la placa frontal, que sujeta la estructura rígida determinada, la cual tiene los siguientes datos:

Dimensiones:

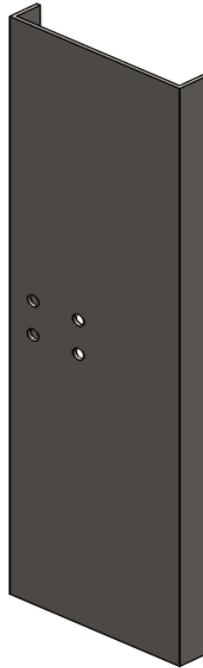
- Largo: 1002 mm
- Ancho: 300 mm
- Profundidad: 50 mm
- Espesor: 6 mm

Figura 49. Dimensiones Placa Frontal.



Fuente: Los Autores

Figura 50. Placa Frontal.



Fuente: Los Autores

Identificaciones:

- Velocidad ( $V_c$ ):  $120 \frac{Km}{h} = 33.33 \frac{m}{s}$  (Los Ríos-DNCE, 2016).
- Factor de Seguridad ( $n_d$ ) : 1.25; recomendado en la Tabla 27, para Materiales Dúctiles para diseño de estructuras bajo cargas estáticas con alto grado de confianza.
- Energía Cinética ( $\epsilon_c$ )
- Fuerza Constante ( $F$ )
- Masa ( $m$ )

Material: ASTM A 36

- Esfuerzo a la Fluencia ( $\sigma$ ): 250 MPa (AHMSA, 2013)
- Densidad del Acero ASTM A36 ( $\gamma$ ):  $7\ 860 \frac{Kg}{m^3}$

Determinar:

- Profundidad de Deformación (D):
- Esfuerzo Normal ( $\sigma_{Normal}$ ):

Por lo que:

$$\varepsilon = \frac{1}{2}mv^2 \qquad \varepsilon = FD \qquad \text{Ec. 12}$$

$$Vol = L_{ext} * A_{ext} * P_{ext} - L_{int} * A_{int} * P_{int}$$

$$Vol = 1.02 \text{ m} * 0.3 \text{ m} * 0.05 \text{ m} - 1.02 \text{ m} * 0.288 \text{ m} * 0.044 \text{ m} = 0.00237456 \text{ m}^3$$

$$m = \gamma * vol. = 7860 \frac{Kg}{m^3} * 0.00237456 \text{ m}^3 = 18.664 \text{ Kg.}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} * 18.664 \text{ Kg} \left( 33.3333 \frac{m}{s} \right)^2 = 10368.9 \frac{Kg \cdot m^2}{s^2}$$

$$F = (\sigma_{m\acute{a}x.}) * A ; \qquad \sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{\sigma}{n_d}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x..} = \frac{\sigma}{n_d} = \frac{250\,000\,000 \frac{N}{m^2}}{1.25} = 200\,000\,000 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x..} = 200\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$A = 0.3 * 0.05 - 0.288 * 0.044 = 0.002328 \text{ m}^2$$

$$F = (\sigma_{m\acute{a}x.}) * A = 200\,000\,000 \frac{N}{m^2} * 0.002328 \text{ m}^2 = 465\,600 \text{ N}$$

$$D = \frac{\varepsilon}{F} = \frac{10\,368.9 \frac{Kg \cdot m^2}{s^2}}{465\,600 \frac{Kg \cdot m}{s^2}} = 0.02227 \text{ m}$$

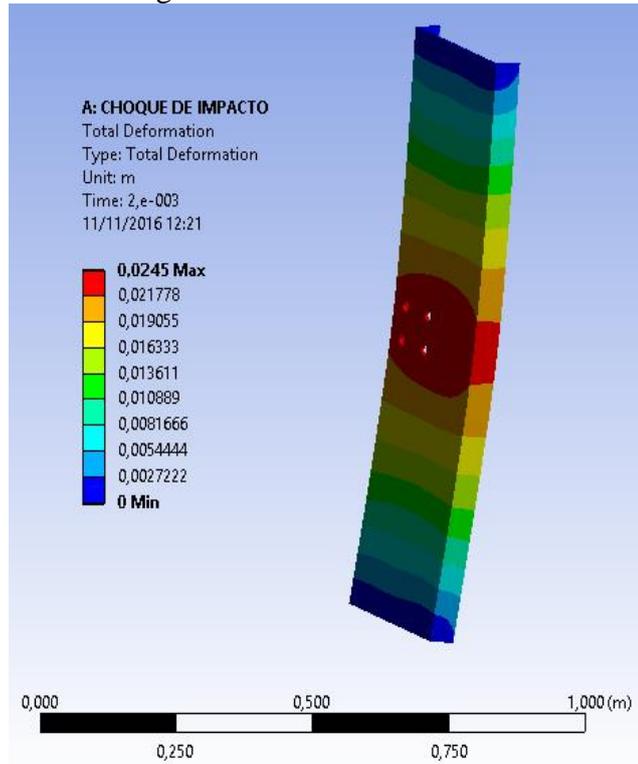
$$\mathbf{D = 0.02227 \text{ m} = 22.27 \text{ mm.}}$$

Finalmente se puede indicar que el Esfuerzo Normal ( $\sigma_{Normal}$ ) sería de: **250 MPa**

Se procede a Analizar la Profundidad de Deformación (D) y el Esfuerzo Normal ( $\sigma_{Normal}$ ) de Impacto que se da en la Placa, mediante el uso del Software Ansys 15.0; para lo cual se debe agregar el modelo al método MEF, así como elegir el Material, para después seleccionar la Geometría adecuada, las Condiciones de Borde y la Velocidad requerida; para poder obtener los siguientes resultados.

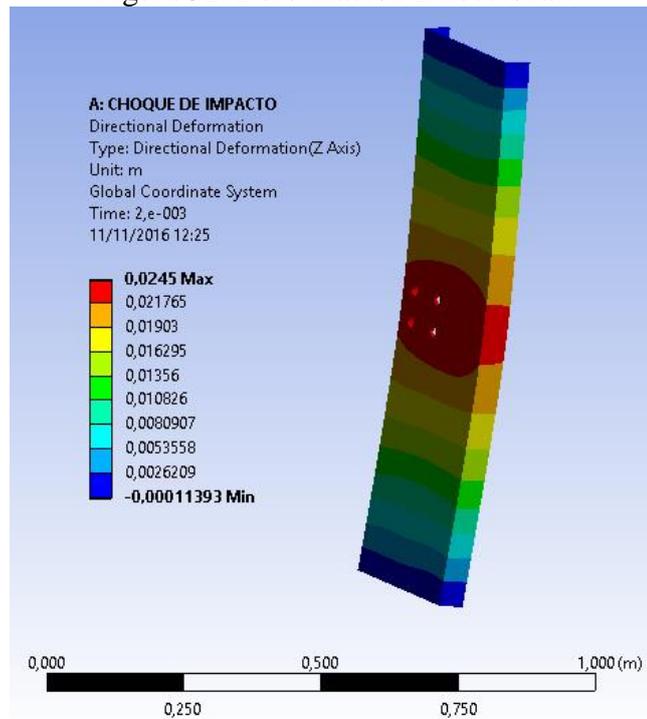
- Profundidad de Deformación (D).

Figura 51. Deformación Total.



Fuente: Los Autores

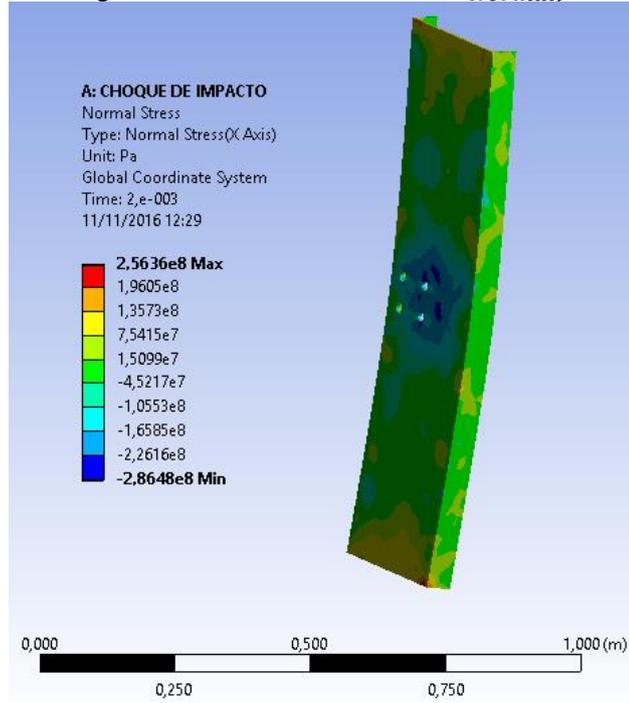
Figura 52. Deformación Direccional.



Fuente: Los Autores

- Esfuerzo Normal ( $\sigma_{Normal}$ ).

Figura 53. Esfuerzo Normal ( $\sigma_{Normal}$ ).



Fuente: Los Autores

Una vez realizado el Análisis mediante el Método MEF, se procede a comparar con las Soluciones Analíticas.

Tabla 36. Resultados Analíticos y MEF de la Placa Frontal.

<b>Resultados</b>		
<b>Placa Frontal (m)</b>		
<b>Material: Acero ASTM A 36</b>		
<b>Características</b>	<b>Resultados Analíticos</b>	<b>Resultados MEF</b>
Profundidad de Deformación, $D$ , (mm)	22.27	24.5
Esfuerzo Normal, $\sigma_{Normal}$ , (MPa)	250	256.36

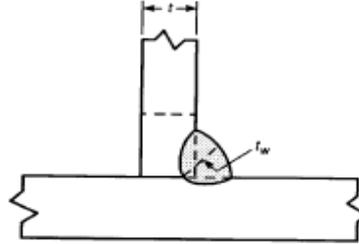
Fuente: Los Autores

Una vez especificados los Resultados Analíticos y en MEF de la Placa Frontal en la Tabla 32, se puede dar por válido los mismos, ya que no hay una gran diferencia entre ambos resultados.

## 4.2 Cálculo de soldadura.

Las soldaduras se analizarán en las uniones más frecuentes utilizadas en la Estructura Rígida diseñada, como son de tipo L, para soldaduras de filete con tubo 50x50x3 de Acero ASTM A500, basadas en el (AWS D1.3) Structural Welding Code – Sheet Steel (Código de Soldadura Estructural para Chapa de Acero).

Figura 54. Soldadura de Filete.



Fuente: (AWS D1.3, 1999)

Para determinar la carga admisible de la soldadura dada, según la (AWS D1.3, 1999) se utilizará:

$$P = 0.4 \left( 1 - 0.01 \frac{L}{t} \right) t(L) F_u, \text{ for } \frac{L}{t} < 25 \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

P = Carga Admisible de Soldadura (lb)

t = Espesor de la Placa (in) = 3 mm = 0.118 in.

L = Longitud de la Soldadura (in) = 2 in.

F<sub>u</sub> = Carga Última a Tensión del A500  $\left( \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \right) = 4\,080 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 58 \text{ Kpsi}$ .

$$F_u = 4080 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{2.2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ Klb}}{1000 \text{ Lb}} \times \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{1 \text{ pulg}^2} = 57.9 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2} \approx 58 \text{ Kpsi}$$

$$P = 0.4 \left( 1 - 0.01 \frac{2 \text{ in}}{0.118 \text{ in}} \right) 0.118 \text{ in} (2 \text{ in}) 58000 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} = 4\,547.2 \text{ lb Por lado}$$

El contorno del Tubo soldado soportará en total:

$$4547.2 \text{ lb} \times 4 = 18188.8 \text{ lb} = 8250.30 \text{ Kg.}$$

La Carga Máxima de Diseño de las Bodegas = 962.78 Kg.

Como se puede observar, que la Carga Admisible es mayor que la Carga de Diseño, se puede dar por Válido el Diseño de la Soldadura.

Puesto que se indicó, que este tipo de cálculo sirve según norma para:  $\frac{L}{t} < 25$  se determina que:

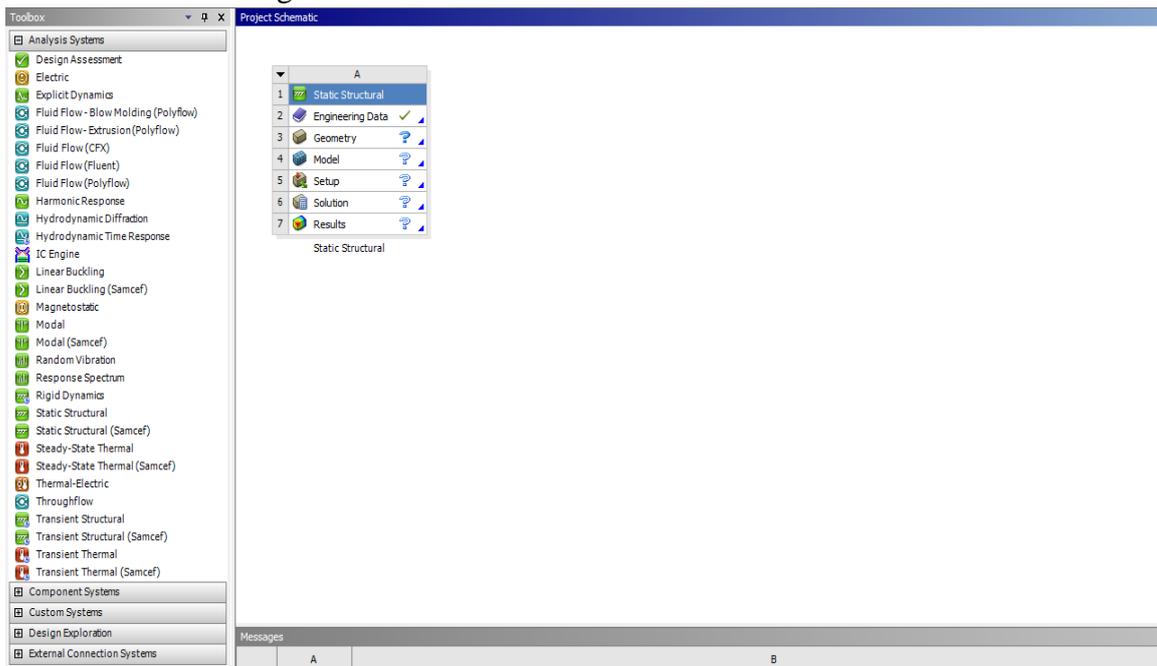
$$\frac{L}{t} = \frac{2 \text{ in}}{0.118 \text{ in}} = 16.9 < 25$$

Como se ve a continuación que  $\frac{L}{t} < 25$ , cumple según lo establecido en la Norma, se da por válido el uso de la misma.

### 4.3 Análisis del diseño de la estructura rígida.

Para llevar a cabo el Análisis de la Estructura Rígida diseñada, se inicia eligiendo la opción de Estructura Estática (Static Structural), ubicada en las Herramientas ofrecidas por el Workbench.

Figura 55. Pantalla Workbench – Static Structural.



Fuente: Los Autores.

Se elige el Material de la Estructura el cual es el Acero Estructural (Structural Steel), el mismo que se halla en el Engineering Data.

Figura 56. Engineering Data.

Outline of Schematic A2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

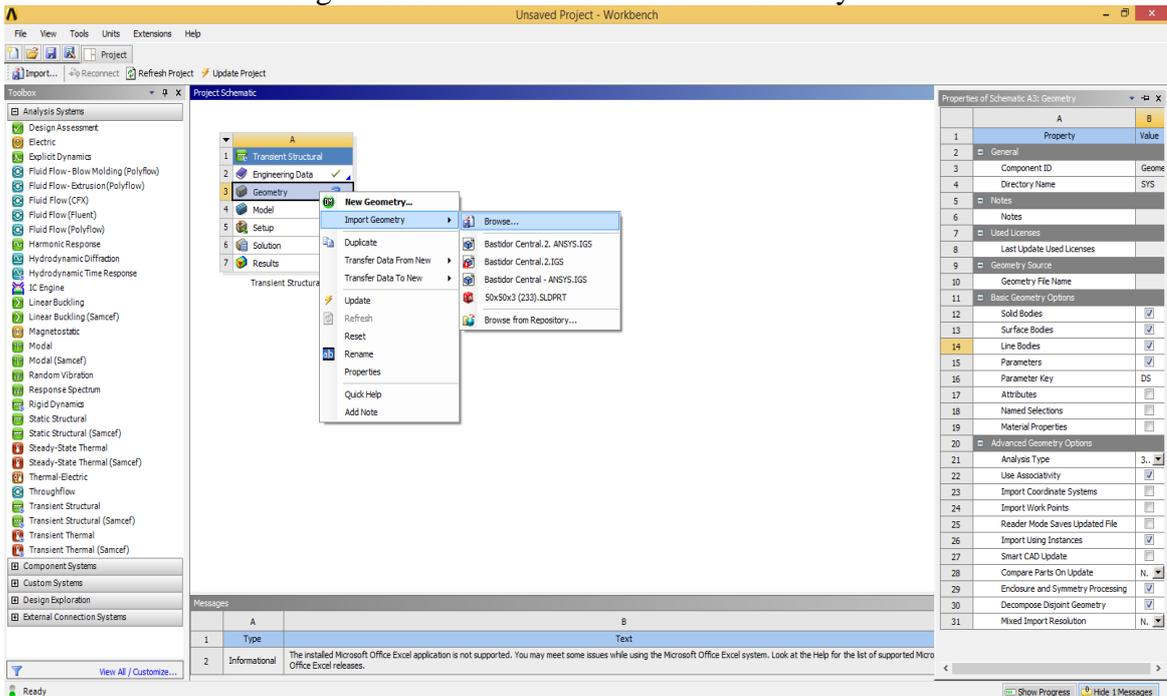
  

Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Fuente: Los Autores

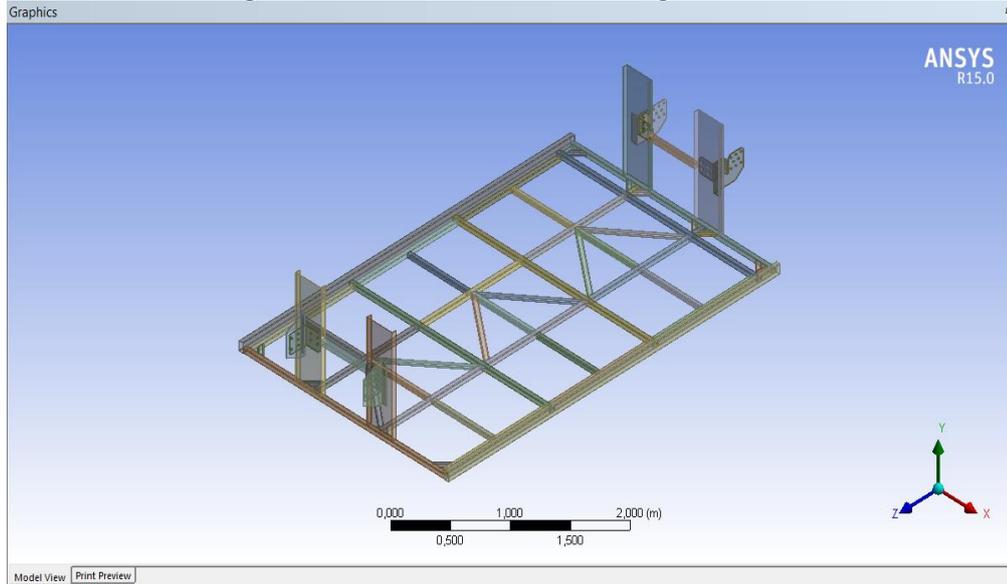
Una vez seleccionado el Material se procede a elegir la Geometría adecuada (Geometry), donde se procede a seleccionar las propiedades del diseño elaborado a Importar.

Figura 57. Pantalla Workbench – Geometry.



Fuente: Los Autores

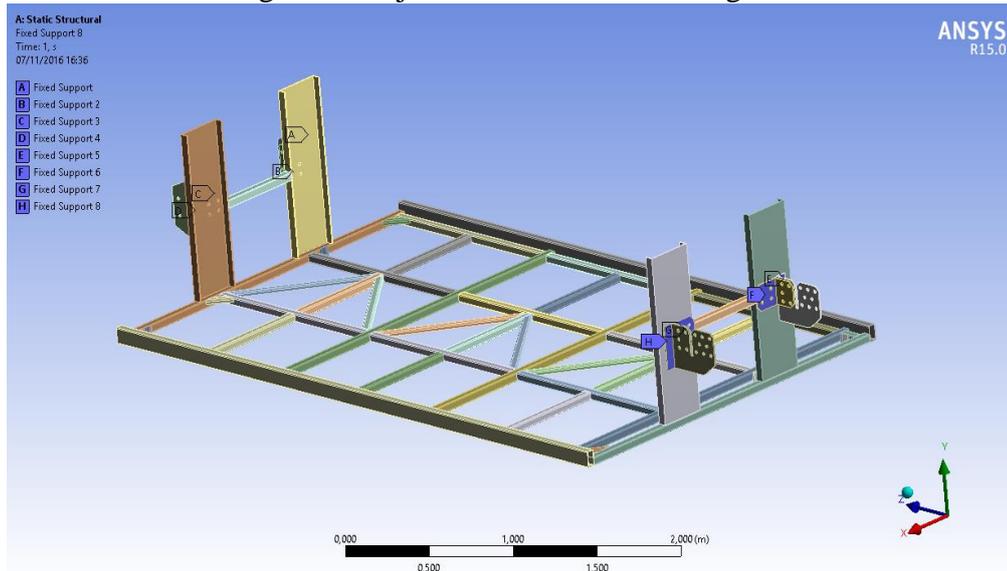
Figura 58. Static Structural – DesignModeler.



Fuente: Los Autores

A continuación, se procede a elegir las Condiciones de Borde, las mismas que se ubican como Soportes Fijos (Fixed Support), seleccionando las Áreas consideradas que cumplirían con las condiciones nombradas.

Figura 59. Fijación de la Estructura Rígida.



Fuente: Los Autores

Una vez especificadas las Condiciones de Borde, se procede a colocar las Cargas que intervienen sobre la Estructura Rígida, las cuales son distribuidas sobre las Áreas que van a actuar, las mismas que se toman como componente con la dirección adecuada.

La Carga a colocar en la Estructura Rígida es:

La Fuerza sobre el Área de la Estructura.

Por lo que:

$$q = \frac{F}{A} \quad \text{Y} \quad F = P = m * g \quad \text{Ec. 14}$$

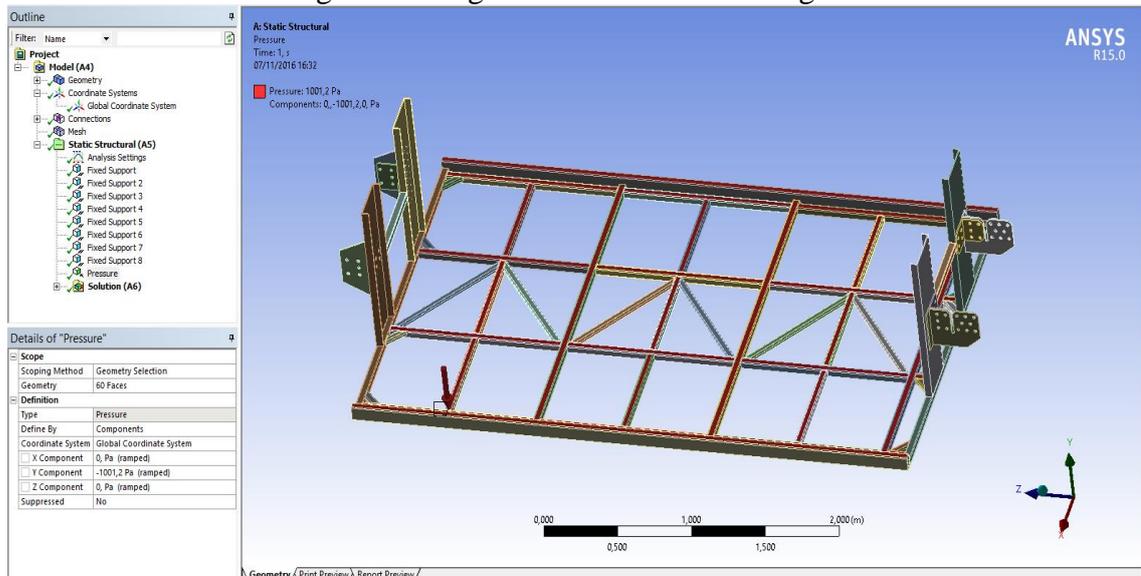
Donde:

- $q$  = Carga (Pa)
- $F$  = Fuerza (N)
- $m$  = Masa (Kg) = 962.78 Kg. (Tabla 20)
- $A$  = Área ( $m^2$ ) = Largo (m) x Profundidad (m) = 3.81 m x 2.475 m = 9.43  $m^2$  (Tabla 20)
- $g$  = *gravedad* = 9.80665  $\frac{m}{Seg.^2}$

$$F = 962.78 \text{ Kg} * 9.80665 \frac{m}{Seg.^2} = 9\,441.6465 \frac{Kg * m}{Seg.^2} = 9\,441.6465 \text{ N}$$

$$q = \frac{9\,441.6465 \text{ N}}{9.43 \text{ m}^2} = 1\,001.24 \frac{N}{m^2} = 1\,001.24 \text{ Pa}$$

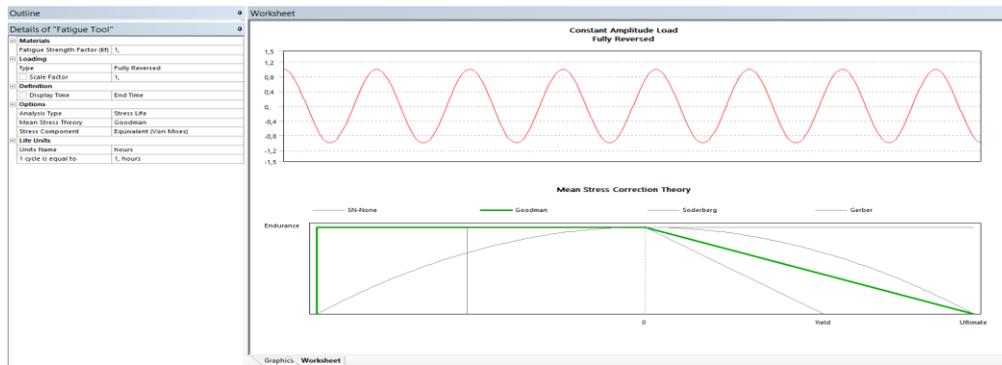
Figura 60. Cargas sobre la Estructura Rígida.



Fuente: Los Autores

Se debe tener presente que para realizar el Análisis a Fatiga de la Estructura Rígida, se basa en criterios como es la Teoría de Goodman con Carga Reversible.

Figura 61. Condiciones del Material a Fatiga.



Fuente: Los Autores

#### 4.3.1 Resultados de los Análisis de Esfuerzos.

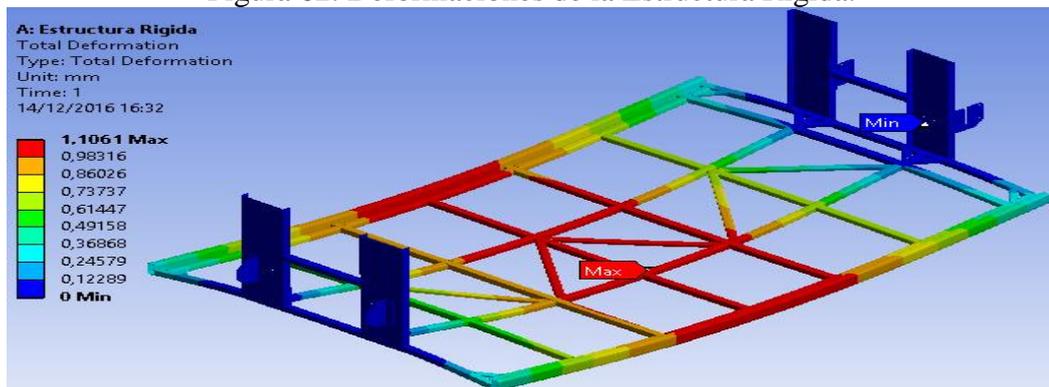
El Análisis de Esfuerzos se basa en un Diseño Estático y otro a Fatiga.

a) El Diseño Estático se hace referencia a:

- **Deformación Total**

Una vez ubicados todos los parámetros nombrados y detallados anteriormente, se procede a analizar, haciéndose referencia en la Deformación Total, la misma que es aceptable, en vista que se puede diferenciar que en la sección central de la Estructura Rígida, es la zona donde se presenta una mayor deformación, la cual es de 1.1 mm, la misma que es despreciable por no representar una deformación alta.

Figura 62. Deformaciones de la Estructura Rígida.

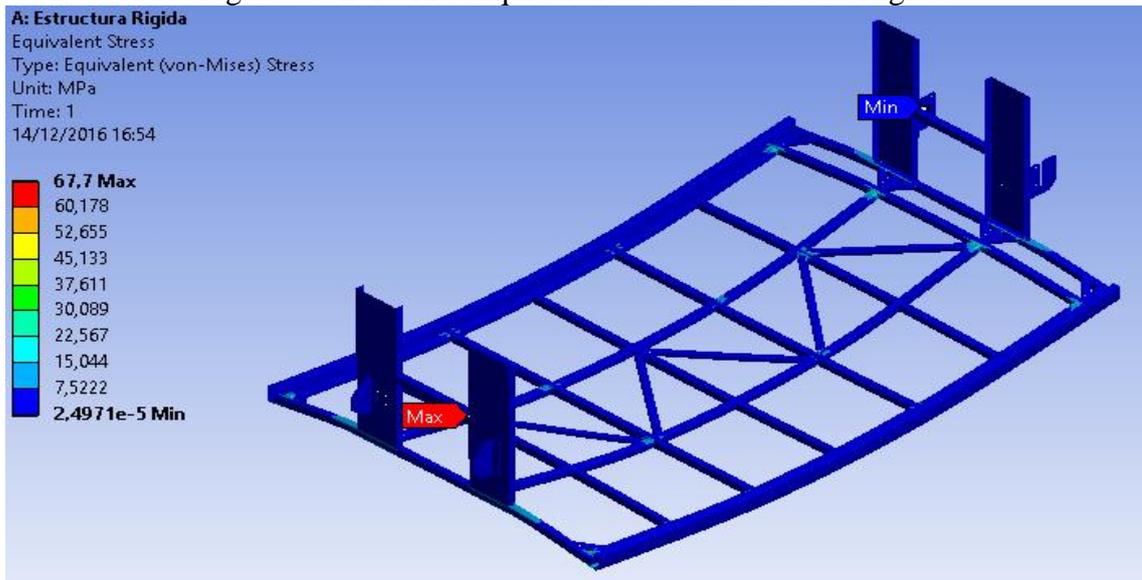


Fuente: Los Autores

- **Esfuerzos Equivalentes**

Según los resultados dados de los Esfuerzos Equivalentes, en la Escala de Von Mises, es aceptable, en vista que se puede distinguir que el Esfuerzo Máximo que se da en la Estructura Rígida es de 67.7 MPa, la misma que se encuentra dentro del rango permisible del material.

Figura 63. Esfuerzos Equivalentes de la Estructura Rígida.

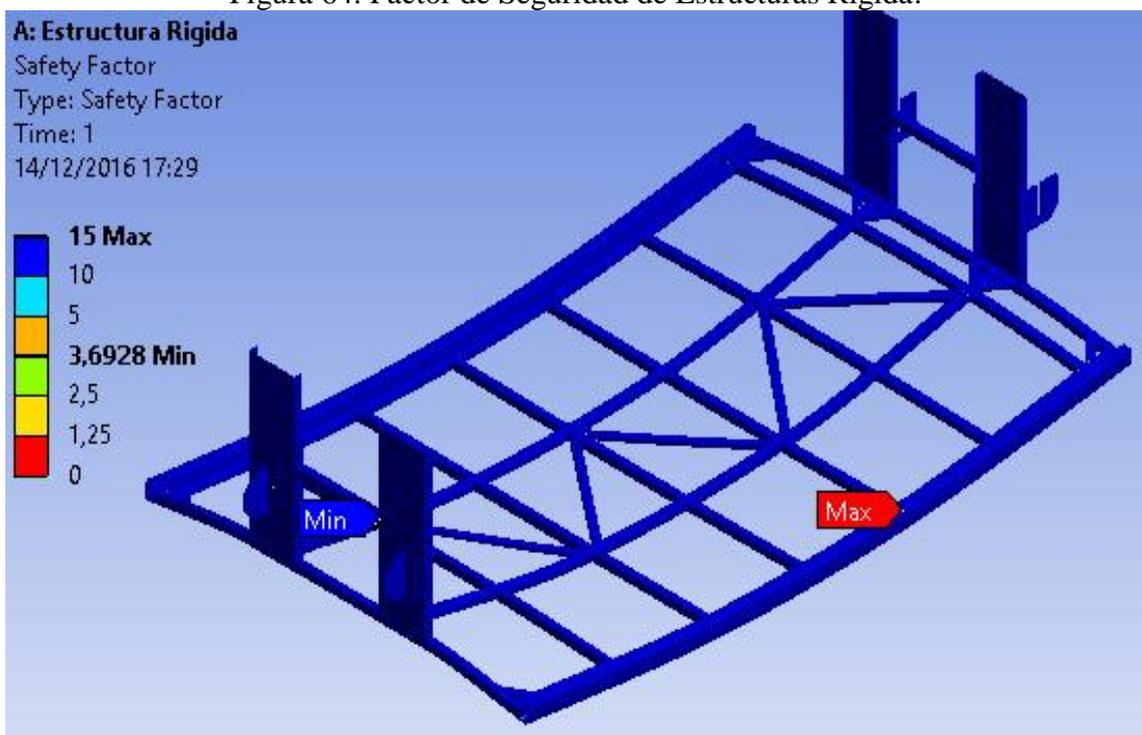


Fuente: Los Autores

- **Factor de Seguridad**

Mediante los resultados dados, se puede especificar que el Factor de Seguridad originado de la Estructura Rígida diseñada es aceptable, por ser mayor a 1, la cual varía desde 3.2359 hasta 15. Por lo que se concluye que SI será capaz de resistir las cargas máximas de trabajo a las que fuesen sometidas.

Figura 64. Factor de Seguridad de Estructuras Rígida.



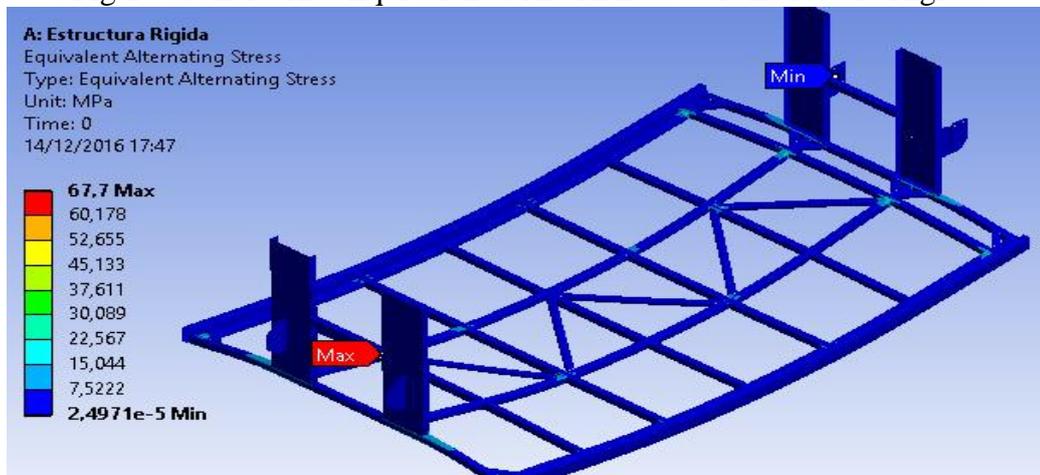
Fuente: Los Autores

b) El Diseño a Fatiga se hace referencia a:

- **Esfuerzos Equivalentes Alternantes**

Según los resultados dados del Análisis, es aceptable, en vista que se puede distinguir que el Esfuerzo Máximo que se da en la Estructura Rígida es de 67.7 MPa, la cual es despreciable por no representar un Esfuerzo Alto en la estructura nombrada.

Figura 65. Esfuerzos Equivalentes Alternantes de la Estructura Rígida.

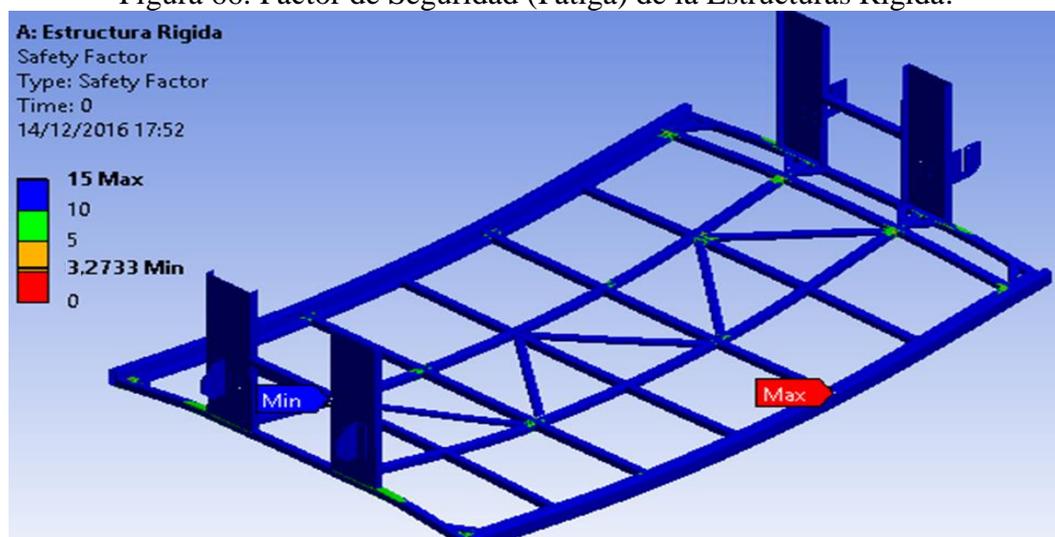


Fuente: Los Autores

- **Factor de Seguridad (Fatiga)**

Mediante los resultados dados, se puede indicar que el Factor de Seguridad (Fatiga) del diseño es aceptable en vista que es mayor a 1, el mismo que varía desde 3.27 hasta 15; concluyendo de esta manera que toda la Estructura Rígida será capaz de resistir a Fatiga las cargas máximas de trabajo a las que fuesen sometidas.

Figura 66. Factor de Seguridad (Fatiga) de la Estructuras Rígida.

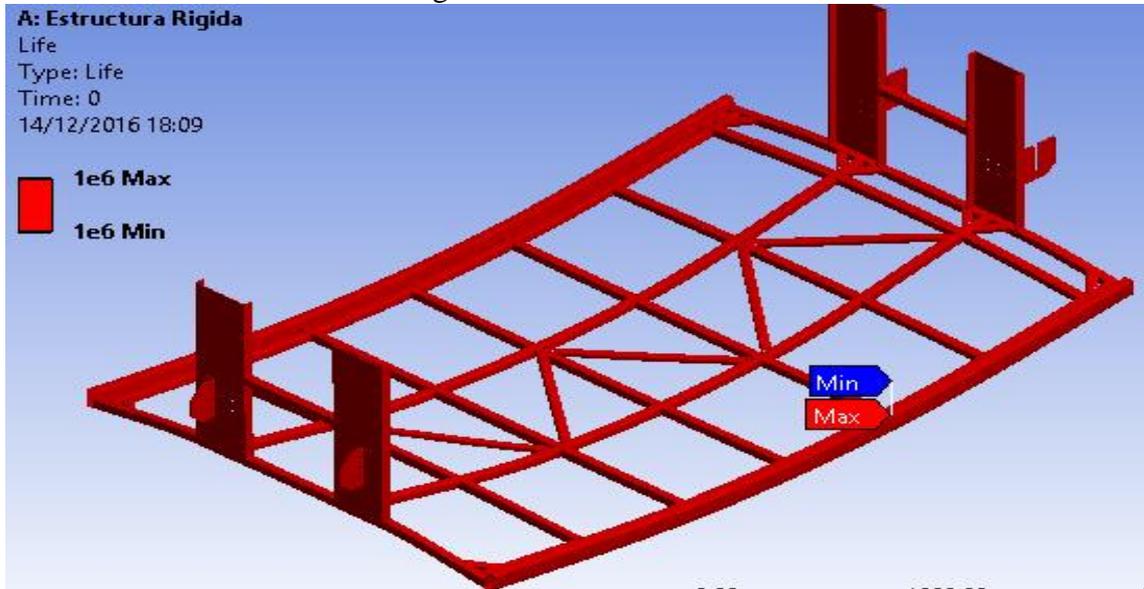


Fuente: Los Autores

- **Ciclo de Vida**

Según los resultados dados; se puede distinguir; que todo el sistema de la Estructura Rígida, tendrá una larga vida útil, en vista que posee un Ciclo de Vida Mínimo y Máximo de 1 000 000 ciclos, según la escala establecida.

Figura 67. Ciclos de Vida.



Fuente: Los Autores

## CAPÍTULO V

### 5 MANUFACTURA Y COSTOS

La estructura rígida para su óptima fabricación deberá tener un proceso de fabricación previo a su construcción, después de haber obtenido las dimensiones y la geometría de la estructura rígida.

Cada proceso de construcción deberá ser enfocado al no desperdicio de material para minimizar gastos haciendo del proceso eficaz, así se ha obtenido el siguiente proceso.

- a) Selección de material y herramienta.
- b) Almacenamiento de material y herramienta
- c) Corte y doblado de material
- d) Preparación de juntas
- e) Soldadura
- f) Pintura

Figura 68. Proceso de Construcción de la estructura rígida

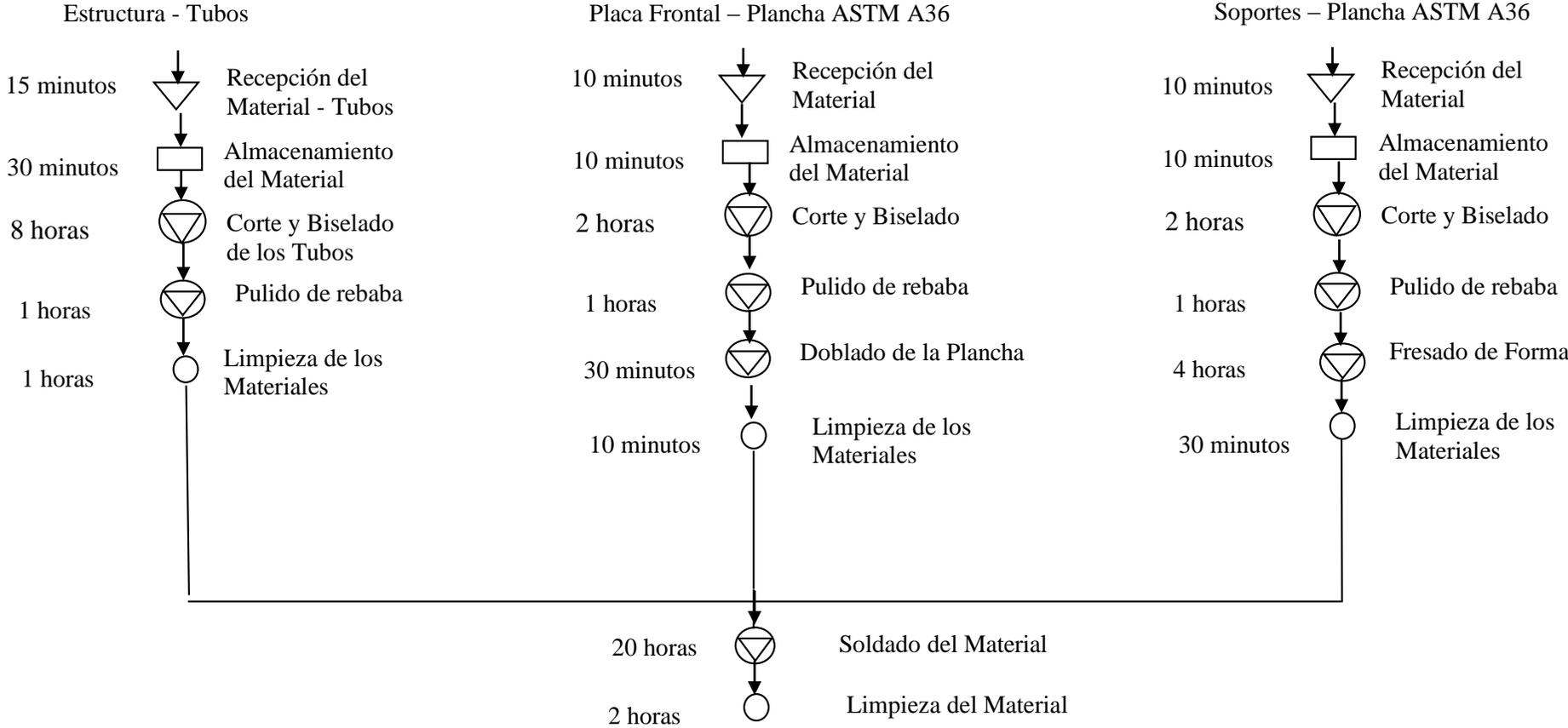


Fuente: Autores

El diseño y fabricación cumple con las Normas vigentes, permitiendo tolerar cargas específicas, deterioro ambiental, cambios climáticos, resistencia a la corrosión, etc.

El proceso de manufactura sigue el Diagrama de Flujo de Procesos, que se da a continuación.

### Manufactura del Bastidor Central



Manufactura Ensamblaje con el Chasis: El tiempo que se tardara en la construcción y montaje será de 56 horas.

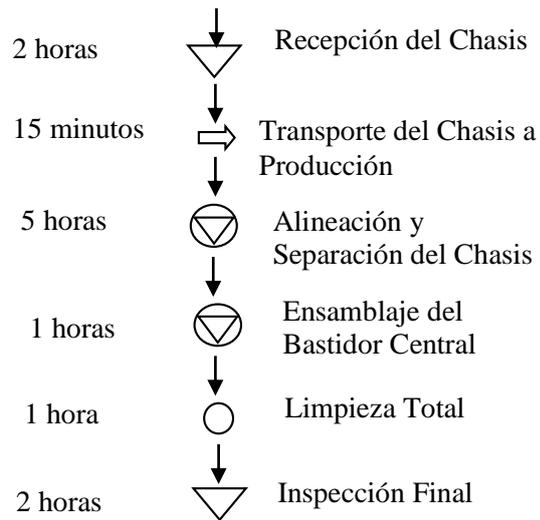


Tabla 37. Simbología de manufactura

Descripción	
	Símbolo
Inspección	▽
Operación	○
Transporte	⇒
Operación Inspección	▽○
Almacenamiento	□

FUENTE: Autores

## 5.1 Costos

El análisis de costos es muy importante para la construcción de la estructura rígida el cual se detalla el costo de adquisición de material al igual que la elaboración hasta la etapa final de la estructura.

- Costo de materia prima
- Costo de mecanizado
- Costo diseño
- Costo total

Tabla 38. Costos de Materia Prima

Materia Prima (perfiles y planchas metálicas utilizadas en ASTM A36)			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo (USD)
Plancha 1220x1500 mm	2	126.00	252.00
Tubo Rectangular 100x50x3 mm	1.3	38.80	50.44
Tubo Cuadrado 50x50x3 mm	6	21.66	129.96
Perfil en C	1.5	9.19	13.875
Pintura	2 Litros	20.00	40.00
Tiñer	1 Litro	7.00	7.00
Varios (Pernos, tuercas, etc)		30.00	30.00
<b>Sub Total</b>			<b>523.28</b>
IVA 14%			73.26
Total			596.54

FUENTE: proveedores DIPAC

Tabla 39. Costos de Mecanizado o Maquinado.

Proceso	Cantidad	Costo / Hora (USD/h)	Costo Total (USD)
Doblado	1 h	3.00	3.00
Soldado	15h - 150 Cordones	0.50	75.00
Fresado	4 h	12.50	50.00
<b>Total</b>			<b>128.00</b>

FUENTE: proveedores DIPAC

Mano de obra del Armado del Bastidor Central es de 200.00 según trabajadores de Miral

Tabla 40. Costo Directo en la fabricación de la estructura rígida

Elementos	Costos (USD)
<b>Costos de Materia Prima</b>	594.54
Costos de Mecanizado o Maquinado	128.00
Costo del Conjunto Armado Mano de obra	200.00
<b>Total</b>	<b>922.54</b>

FUENTE: proveedores DIPAC

Tabla 41. Costo indirecto de la estructura rígida

Elementos	Costo (USD)
Papelería.	10.00
Transporte	25.00
Instrumentos de Escritorios	10.00
<b>Subtotal</b>	<b>45.00</b>
<b>10% de Imprevistos</b>	<b>5.50</b>
<b>Total</b>	<b>49.50</b>

FUENTE: proveedores DIPAC

Tabla 42. Costo total de la estructura rígida

Característica	Costo (USD)
Costo Directo Total	922.54
Costo Indirecto Total	49.50
<b>Costo Total</b>	<b>972.04</b>

FUENTE: proveedores DIPAC

## CAPITULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones.

- Se determina que el factor de seguridad obtenido en el diseño de la estructura rígida es aceptable con un valor de 3,69 en análisis estático y 3,27 a fatiga
- Se determina que la deformación de los elemento de la estructura rígida cumple con los parámetros que indica la NTE 1323
- Se establece que el esfuerzo total de la estructura rígida es menor con un valor de 67,7 Mpa referente al esfuerzo máximo permisible del material utilizado.
- Se comprobó que la estructura rígida soportara una carga total de 15100 Kg
- Se debe detallar que la deformación provocada por las cargas generadas es aceptable, ya que no presenta un valor alto de deformación en la zona central del diseño, con un valor de 1,48 mm el cual se considerar como despreciable.
- El estudio de campo realizado evidencio la falta de utilización de un chasis adecuado para transporte de pasajeros.
- El proyecto de Investigación cumple con el objetivo general como es, diseñar y analizar una estructura rígida para montaje en un chasis cama baja para transporte de pasajeros, con los parámetros expuestos, obteniendo resultados favorables

## **6.2 Recomendaciones.**

- Se especifica que se puede llevar a cabo la construcción de la estructura rígida cuando sea requerido, en cualquier taller, en vista que sus piezas, o partes se pueden mecanizar fácilmente.
- Se sugiere mayor investigación ingenieril por parte del sector carroceros para mejorar progresivamente la calidad de sus productos brindando seguridad y confiabilidad a los usuarios.
- Se recomienda para futuros diseños en el Sector carroceros guiarse en las Normas de Transporte recomendadas y propuestas para cada Tipo.
- Se recomienda no realizar al chasis ninguna modificación, a menos que se tenga la autorización por parte del fabricante mediante los procesos expuestos en el manual de carrozado.
- Se recomienda elegir personal calificado para elaborar las uniones soldadas.
- Se recomienda que el chasis y la estructura a montar se encuentren correctamente alineados.
- Identificar las dimensiones del chasis correctamente según el fabricante para el diseño de la estructura.
- Utilizar los materiales especificados para la construcción de la estructura.

## BIBLIOGRAFÍA

**AWS D1.3.** *Structural Welding Code - Sheet Steel*. Miami-Estados Unidos, 1999, pp. 50.

**BANGEMANN, Martin.** *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*. Bruselas, 1998, pp. 14-16.

**Federación de Enseñanza.** “Tipos de uniones soldadas”. *Temas para la Educacion* [En línea], 2010, volumen N-6 pp. 1-11. [Consulta: 17 agosto 2016]. ISSN 1989-4023. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docuipdf.aspx?d=6731&s=>

**Gobierno de España.** *EAE. Instrucción de Acero Estructural*. Madrid. 2012.

**MCCORMAC, Jack; & CSERNAK, Stephen.** *Introduccion al diseño estructural en acero. Estructuras de acero*. Alfaomega, 2012. pp 29.

**MOTT, Robert.** *Diseño de Elementos de Máquinas* [En línea] 4ed. México D.F: Pearson Educacion, 2006. [Consulta: 02 agosto 2016]. Disponible en: [http://www.susferrin.com.ar/\\_capacitacion/pdf/SUSFERRIN\\_Diseno\\_Elementos\\_Maquinas.pdf](http://www.susferrin.com.ar/_capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Diseno_Elementos_Maquinas.pdf)

**RIBA ROMEVA, Carles.** *Diseño concurrente*. Barcelona-Espana, 2002, pp. 172-185.

**SHIGLEY BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith.** *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico. D.F: Mcgraw-Hill, 2008, pp. 22.

**Agencia Nacional de Transito.** *Chasis para Transporte Pasajeros*, (2016),(Ecuador)

**AGRALE.** *Chasis Agrale MT 15.0 LE* [En línea]. Brasil, [Consulta: 15 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.agrale.com.br/es/>

**AHMSA.** *Manual de Diseño para la Contrucción con ACERO*. (2013),México D.F. pp. 2-7.

**PRO ECUADOR.** "Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones". *Análisis del Sector Metalmeccánico*, 2013. pp 1.

**ANT.** *Dirección de regulación transporte terrestre, tránsito y seguridad vial homologación vehicular - carrocerías nacionales.* 2016.

**KUPFER.** *Aceros. Antofagasta,* 2016.

**Benz, Mercedes.** *chasis con entrada baja para autobus.* 2015.

**Canfac.** *Informe diagnóstico del sector carrocería.* Ambato, 2014.

**LANDA, Carlos.** *Manual de Prácticas de Soldadura por Arco Eléctrico Manual (TIG; MIG; SMAW).* Xalapa, 2011. pp 70.

**La Casa del Perno.** *Society of Automotive Engineers.* Sangolqui, 2015.

**La Hora.** *Economía. La Hora Nacional.* 2011.

**MADRID, Mario.** *Tecnología de la Adhesión.* Loctite, 2012. pp. 25.

**Scania.** *Chasis Scania para ómnibus urbano,* 2016.

**Scania K 360 IB4X2 Euro V.** *Capacidades Técnicas.* 2015.

**VILLEGGER, Y.** *Reparación de carrocerías.* Barcelona: Ceac, 1985. pp. 20-25.

**ZETINA, José.** *Manual de Diseño en Acero.* 2004. pp 29.

**ANANDRAJ, H.** "Stress analysis of light commercial vehicle chassis by FEM". *Stress analysis of light commercial vehicle chassis by FEM.* [En línea], 1995. [Consulta: 25 julio de 2016]. Disponible en: <http://www.stressanalysisofheavydutytruck.uk>.

**ECUABUS.** "Chasis + Carrocería, un Análisis Técnico". [En línea], 2013. [Consulta: 25 julio 2016] Disponible en: <http://www.ecuabus.net/Chasis%20Bus.html>.

**ITESCAM.** "Ensamble por Adhesivos". *Procesos De Ensamble.* [En línea]. [Consulta: 20 de Septiembre de 2012]. Disponible en: <http://unidadivprocesosdesoldadura.weebly.com/ensamble-por-adhesivos.html>.

**Los Ríos-DNCE.** "Noticias". *Policía Nacional del Ecuador*. [En línea], 2016, (Ecuador),[Consulta: 1 de Octubre de 2016.] Disponible en: <http://www.policiaecuador.gob.ec/control-para-evitar-accidentes-de-transito-se-refuerza-en-los-rios/>.

**INGEMECÁNICA.** "Diseño y Cálculo de Uniones". [En línea].[Consulta: 2 Noviembre de 2016]. Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn32.html>.

**LUISAR, Carlos.** "Ventajas y Desventajas del Uso de Acero en la Construcción". *Estructuras de acero*. [En línea], 2007, [Consulta: 05 Octubre 2016]. Disponible en: <http://estructurasacero.blogspot.com/2007/06/ventajas-y-desventajas-del-uso-de-acero.html>.

**MATERFER.** "Bus Urbano". *Carrocería Águila*. [En línea], 2013, [Consulta: 05 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.materfer.com/colectivos/carrocerias3.php>.

**MORETA, Modesto.** "54 empresas carroceras ya tienen su certificación". *Revista Líderes*. [En línea], 2015, [Consulta: 05 Noviembre 2016] Disponible en: <http://www.revistalideres.ec/lideres/empresas-carroceras-buses-certificacion-agencia.html>.

**OTERO.** "Planchas de Carbono". *Acero Otero*. [En línea], 2015. [Consulta: 15 de Noviembre de 2016.] Disponible en: [http://www.acerosotero.cl/planchas\\_acero\\_carbono\\_astm\\_a36.html](http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html).

**PUENTE, Laura.** *Automoción*. [blog], 2013. [Consulta: 06 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://puentelara.blogspot.com/2013/06/uniones-pegadas-tipos-de-pegamentos.html>.

**ROADHOUSE.** "Manual Técnico de la Patilla de Freno". *Roadhouse*. [En línea].[Consulta: 12 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.imporbrake.com/manuales/Cap1.pdf>.

**UCLES, Ena.** "Criterio de selección de materiales". [En línea], 2015. [Consulta: 14 de Noviembre de 2016.]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/EnaUcles1/criterio-de-seleccion-de-los-materiales>.

**YANEZ, Nancy.** "Características". *Aceros Tubulares*. [En línea], 2015. [Consulta: 15 de Noviembre de 2016]. Disponible en: <https://prezi.com/ebojeqfpjqs/acerotubulares/>.

**NEC.** *Cargas No Sísmicas*. Sección 3.4.3

**Norma.3.1-IC.** *Trazado. Instrucción de Carreteras*. Sección 4.3.3 - 4.4.4

**NTE INEN 1323. 2009.** *Vehículos Automotores, Carrocerías de Buses, Requisitos*. Literal 3 - 5

**NTE INEN 1668. 2015.** *Vehículos De Transporte Público De Pasajeros Intrarregional, Interprovincial E Intraprovincial. Requisitos*. Literal 4 - 5

**RTE INEN 043. 2010.** *Bus Interprovincial E Intraprovincial*. Literal 4

**ALBUJA JACOME, Javier Edmundo, & RAMOS CÓRDOVA, Luis Hamilthon.** *Diseño y estudio de factibilidad de construcción de un bastidor para chasis de bus con fines de producción nacional* (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Automotriz. (Riobamba-Ecuador). 2016. Riobamba. pp. 20-72. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4556>

**ANDRADE FREIRE, Luis Bolívar.** *Propuesta de una metodología para selección del tren motriz y chasis para vehículos de transporte colectivo en el Ecuador* [En línea] (Tesis).(Maestría) Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Facultad de Ingeniería. (Quito-Ecuador). 2015. pp. 10. [Consulta: 12 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11080/TESIS%20DE%20GRADO%20BOL%20C3%20DVAR%20ANDRADE%20FREIRE.pdf?sequence=1>

**ARRIETA ASAI, Miguel & LARIOS OLVERA, Juan Antonio.** *Análisis mecánico de un prototipo de autobús tipo entrada baja para transporte público* [En línea] (Tesis).(Ingeniería) Instituto Politécnico Nacional, Ingeniería Mecánica y Eléctrica. (Azcapotzalco-México). 2014. pp 20. [Consulta: 15 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/13204/1/TESIS%20ASAI-OLVERA%20JUNIO%202014.pdf>

**CÁRDENAS ORELLANA, Damian Mauricio, ESCUDERO ASTUDILLO, Juan Carlos & QUIZHPI SALAMEA, Klever Sebastian.** *Propuesta de diseño estructural de carrocería para*

*buses de servicio interprovincial* [En línea] (Tesis).(Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Mecánica Automotriz. (Cuenca-Ecuador). 2014. pp 50. [Consulta: 16 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5721>

**GARCIA LEDESMA, Ricardo.** *Diseño y comportamiento de uniones estructurales mecánicas y adhesivas condiciones superficiales y operacionales* [En línea] (tesis).(Maestría) Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, Departamento de Ingeniería y Ciencia de Materiales. (Madrid-España). 2013. pp. 22-40. [Consulta: 16 Noviembre 2016]. Disponible en: [http://oa.upm.es/22235/1/RICARDO\\_GARCIA\\_LEDESMA.pdf](http://oa.upm.es/22235/1/RICARDO_GARCIA_LEDESMA.pdf)

**GUASCAL, Edison & QUIROZ, Luis.** *Diseño y Construcción de un Chasis para el Vehículo tipo Formula SAE.* [En línea] (Tesis).(Ingeniero) Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. (Latacunga-Ecuador). 2015. pp. 50. [Consulta: 16 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9398/1/AC-ESPEL-MAI-0508.pdf>

**ROBERTSON, Jonh.** *An introduction to modern vehicle design. chassis design* [En línea]. Oxford-Reino Unido: Butterworth-Heinemann, 2002. [Consulta: 17 noviembre 2016]. Disponible en: [http://sanantonio.ucoz.ru/\\_ld/0/6\\_0750650443.Else.pdf](http://sanantonio.ucoz.ru/_ld/0/6_0750650443.Else.pdf)

**RIDELL, Rafael & HIDALGO, Pedro.** *Introducción al diseño estructural* [En línea] 5 ed. Santiago-Chile: Salesianos Impresores, 2010. [Consulta: 18 Noviembre 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/270512793/Diseno-Estructural-5Ed-Rafael-Riddell-pdf>

**SENCICO.** *Soldador de Estructuras Metálicas* [En línea]. Lima-Peru, 2013. [Consulta: 20 Noviembre 2016] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/307479513/MANUAL-DEL-SOLDADOR-de-ESTRUCTURAS-METALICAS-SENCICO-servicio-Nacional-de-Capacitacion-Para-La-Industrial-de-La-Construccion-2-1>

**TAIPE CHICAIZA, Edgar Giovanni.** *Manual de Fabricación y Montaje Shelters Metálicos (Galpones)* (Tesis) (Ingeniería). [En línea] Universidad de las Américas, Tecnología Construcción y Domótica. (Quito-Ecuador). 2014. pp 30 [Consulta: 20 Noviembre 2016]. Disponible en: [http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/3655/1/UDLA-EC-TTCD-2014-01\(S\).pdf](http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/3655/1/UDLA-EC-TTCD-2014-01(S).pdf)



