



*Diseño matemático para la construcción de un bastidor mediante normas de calidad y seguridad para chasis de bus con fines de producción nacional*

*Mathematical design for the construction of a frame through quality and safety standards for bus chassis for national production purposes*

*Projeto matemático para a construção de um chasis através de normas de qualidade e segurança para chasis de ônibus para produção nacional*

Javier Edmundo Albuja Jácome <sup>I</sup>  
[javier.albuja@esPOCH.edu.ec](mailto:javier.albuja@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0005-5044-3373>

María Verónica Albuja Landi <sup>II</sup>  
[maria.albuja@esPOCH.edu.ec](mailto:maria.albuja@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-5959-1429>

Fredy Daniel Romero Albuja <sup>III</sup>  
[fredyd.romero@esPOCH.edu.ec](mailto:fredyd.romero@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2512-0159>

**Correspondencia:** [javier.albuja@esPOCH.edu.ec](mailto:javier.albuja@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnica y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de mayo de 2023 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2023 \* **Publicado:** 11 de julio de 2023

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

## Resumen

En el presente trabajo se ha realizado el diseño de un bastidor tipo escalera para chasis de autobús, para conocer la factibilidad de producción a nivel nacional, para lo cual se realizó el diseño y modelado en SolidWorks, tomando en cuenta el ancho y largo máximo de la carrocería, en base a las normas técnicas INEN 1323, 2205 y 1668. Posteriormente se analiza las cargas soportadas por el bastidor, debidas al peso de los componentes normalizados del chasis y las cargas de la carrocería, pasajeros y bodegas, para un peso bruto vehicular máximo de 17 000 kg.

Además se realizó un estudio de oferta y demanda de chasises para autobús recolectando datos de ventas de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador y la producción de carrocerías en el año 2014. Se cotizó el precio de la materia prima disponible en el país y de los elementos acoplados al chasis para obtener el coste final.

Los resultados obtenidos en Ansys nos dan un coeficiente de seguridad de 1,7 para autobús urbano y de 1,5 para autobús interprovincial. El equivalente de Von Misses es de 165 MPa y la deformación máxima de 8,36 mm para el caso más extremo de carga. Estos datos obtenidos se dan a partir de un modelo con perfiles en U de acero ASTM A36 de 235 MPa de límite de fluencia.

El estudio de factibilidad determinó que el coste del bastidor más los elementos normalizados es similar al costo de los chasises disponibles en el mercado.

**Palabras Clave:** Resistencia; Bastidor; Factibilidad; Diseño; Montaje; Peso.

## Abstract

In the present work, the design of a ladder-type frame for bus chassis has been carried out, to know the feasibility of production at a national level, for which the design and modeling was carried out in SolidWorks, taking into account the maximum width and length of the bodywork, based on the technical standards INEN 1323, 2205 and 1668. Subsequently, the loads supported by the frame are analyzed, due to the weight of the standardized components of the chassis and the loads of the bodywork, passengers and warehouses, for a gross weight maximum vehicle weight of 17,000 kg. In addition, a study of supply and demand for bus chassis was carried out, collecting sales data from the Association of Automotive Companies of Ecuador and the production of bodywork in 2014. The price of the raw material available in the country and the prices of the elements attached to the chassis to obtain the final cost.

The results obtained in Ansys give us a safety coefficient of 1.7 for urban buses and 1.5 for interprovincial buses. The Von Misses equivalent is 165 MPa and the maximum deformation is 8.36 mm for the most extreme load case. These data obtained are given from a model with U-shaped profiles of ASTM A36 steel with a yield point of 235 MPa.

The feasibility study determined that the cost of the frame plus the standard elements is similar to the cost of the chassis available on the market.

**Keywords:** Endurance; Frame; Feasibility; Design; Mounting; Weight.

## Resumo

No presente trabalho foi realizado o dimensionamento de uma estrutura tipo escada para chasis de ônibus, para conhecer a viabilidade de produção a nível nacional, para o qual o projeto e modelagem foi realizado em SolidWorks, levando em consideração a largura máxima e comprimento da carroceria, com base nas normas técnicas INEN 1323, 2205 e 1668. Posteriormente, são analisadas as cargas suportadas pela estrutura, devido ao peso dos componentes padronizados do chassi e as cargas da carroceria, passageiros e armazéns, para um peso bruto máximo do veículo de 17.000 kg.

Além disso, foi realizado um estudo de oferta e demanda de chasis de ônibus, coletando dados de vendas da Associação de Empresas Automotivas do Equador e produção de carrocerias em 2014. O preço da matéria-prima disponível no país e os preços dos elementos fixados ao chassi para obtenção do custo final.

Os resultados obtidos em Ansys nos dão um coeficiente de segurança de 1,7 para ônibus urbanos e 1,5 para ônibus interprovinciais. O equivalente Von Misses é de 165 MPa e a deformação máxima é de 8,36 mm para o caso de carga mais extremo. Esses dados obtidos são dados a partir de um modelo com perfis em forma de U de aço ASTM A36 com limite de escoamento de 235 MPa.

O estudo de viabilidade determinou que o custo do quadro mais os elementos padrão é semelhante ao custo do chassi disponível no mercado.

**Palavras-chave:** Resistência; Quadro; Viabilidade; Projeto; Montagem; Peso.

## Introducción

Los avances tecnológicos hoy en día, son cada vez mayores y nos dan herramientas de software que nos ayudan a diseñar los diferentes elementos del vehículo, utilizando los materiales más adecuados que estén de acuerdo a las necesidades actuales y resistan las condiciones climáticas y de trabajo más extremas.

Uno de los mayores desafíos en la industria de fabricación de chasis para diferentes vehículos, es resolver la demanda creciente, mejorar su performance, bajar de peso, incrementar la vida útil de sus componentes, mejorar los procesos de fabricación, diseño y prestación, incorporando nuevos materiales, utilizando herramientas computacionales que permitan acelerar los procesos y lograr diseños más resistentes, de menor peso, optimizados de tal manera que los costos de las unidades sean razonables para el cliente y para el fabricante, en un período corto de tiempo.

Gran parte de los vehículos tienen el bastidor separado de la carrocería, especialmente camionetas y vehículos pesados que son utilizados para trabajos de carga que demandan grandes prestaciones. Un enemigo potencial del bastidor es el tiempo de vida útil que disminuye las propiedades mecánicas del material por lo que tienden a romperse por la fatiga debida al transcurso del trabajo y a la superación del límite de fluencia del material.

## ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN EL BASTIDOR

Se realizará un análisis de los esfuerzos que se producen en un bastidor, y se profundizará en cada caso de carga a los cuales está sometido el mismo para de esta manera comprender cada uno de ellos.

## DETERMINACIÓN DE LOS MATERIALES DEL BASTIDOR

Existen diferentes materiales de construcción de perfiles para bastidores, en nuestro medio tenemos el acero ASTM A36 que tiene las siguientes propiedades:

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

<b>Acero Estructural ASTM A36</b>	
Punto de Fluencia	2 540 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia mínima a Tensión	4 100 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la Tensión	4 080 - 5 625 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad	2,043000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Catálogo DIPAC

Para la construcción de bastidores de autobuses Chevrolet se utiliza el acero SAPH440 cuyas especificaciones se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero SAPH440

<b>Acero SAPH440</b>	
Punto de Fluencia	2 000 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia mínima a Tensión	3 800-4 200 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la Tensión	4 000 – 5 500 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad	2,500000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Manual de Constructores de Carrocerías GM

Los bastidores para vehículos pesados IVECO son de acero FeE420.

Tabla 3. Propiedades mecánicas del acero FeE420

**Acero de alta resistencia FeE420 características**

Resistencia a la rotura	530 N/mm <sup>2</sup> (53 kgf/mm <sup>2</sup> )
Límite de Elasticidad	420 N/mm <sup>2</sup> (42 kgf/mm <sup>2</sup> )
Alargamiento	≥ 21%

Fuente: IVECO gama euro

Hino motors, que actualmente comercializa su chasis para autobús Hino AK8JRSA, su bastidor tiene las características mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 4. Propiedades mecánicas del bastidor de HINO

**Bastidor HINO**

<b>Tipo de metal</b>	<b>Resistencia a la Tensión</b>	<b>Resistencia a la Elasticidad</b>
Placa de acero laminada al calor	440 N/mm <sup>2</sup> (45 kgf/mm <sup>2</sup> )	304 N/mm <sup>2</sup> (31 kgf/mm <sup>2</sup> )
Placa de acero laminada al calor	540 N/mm <sup>2</sup> (55 kgf/mm <sup>2</sup> )	392 N/mm <sup>2</sup> (40 kgf/mm <sup>2</sup> )

Fuente: Manual de montaje de carrocerías Hino.

En la siguiente tabla se puede ver las propiedades mecánicas recomendadas y que son válidas para todos los aceros estructurales, los cuales son utilizados para la fabricación de diferentes elementos y que son óptimos para su uso en diferentes tipos de estructuras metálicas.

Tabla 5. Propiedades mecánicas recomendadas para los aceros estructurales

<b>Propiedades Mecánicas Aceros Estructurales</b>	
Módulo de elasticidad:	210 000 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad transversal:	81 000 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson:	0,3
Coefficiente de dilatación lineal:	12x10 <sup>-6</sup> °C
Densidad:	7 850 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>

Como conclusión se tiene que el acero ASTM A36 con buenas propiedades mecánicas que tiene una resistencia que está dentro del rango de los aceros utilizados en la construcción de bastidores.

## **DETERMINACIÓN DE LOS MATERIALES DEL BASTIDOR**

Existen diferentes materiales de construcción de perfiles para bastidores, en nuestro medio tenemos el acero ASTM A36 que tiene las siguientes propiedades:

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

<b>Acero Estructural ASTM A36</b>	
Punto de Fluencia	2 540 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia mínima a Tensión	4 100 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la Tensión	4 080 - 5 625 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad	2,043000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Catálogo DIPAC

Para la construcción de bastidores de autobuses Chevrolet se utiliza el acero SAPH440 cuyas especificaciones se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero SAPH440

<b>Acero SAPH440</b>	
Punto de Fluencia	2 000 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia mínima a Tensión	3 800-4 200 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la Tensión	4 000 – 5 500 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad	2,500000 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Manual de Constructores de Carrocerías GM

Los bastidores para vehículos pesados IVECO son de acero FeE420.

Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero FeE420

**Acero de alta resistencia FeE420 características**

Resistencia a la rotura 530 N/mm<sup>2</sup> (53 kgf/mm<sup>2</sup>)

Límite de Elasticidad 420 N/mm<sup>2</sup> (42 kgf/mm<sup>2</sup>)

Alargamiento ≥ 21%

Fuente: IVECO gama euroHino motors, que actualmente comercializa su chasis para autobús Hino AK8JRSA, su bastidor tiene las características mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 9. Propiedades mecánicas del bastidor de HINO

**Bastidor HINO**

<b>Tipo de metal</b>	<b>Resistencia a la Tensión</b>	<b>Resistencia a la Elasticidad</b>
Placa de acero laminada al calor	440 N/mm <sup>2</sup> (45 kgf/mm <sup>2</sup> )	304 N/mm <sup>2</sup> (31 kgf/mm <sup>2</sup> )
Placa de acero laminada al calor	540 N/mm <sup>2</sup> (55 kgf/mm <sup>2</sup> )	392 N/mm <sup>2</sup> (40 kgf/mm <sup>2</sup> )

Fuente: Manual de montaje de carrocerías Hino.

Como se puede verificar en las tablas anteriores se tienen materiales con diferentes propiedades estructurales los cuales son propios de cada empresa los mismos que son utilizados para la construcción de sus respectivos bastidores. El límite elástico se considera para el diseño debido a

que si se supera éste valor, el material sufrirá una deformación permanente (deformación plástica) lo cual afecta notablemente a la estructura y lo cual no garantiza el desempeño eficaz de la misma. En la siguiente tabla se puede ver las propiedades mecánicas recomendadas y que son válidas para todos los aceros estructurales, los cuales son utilizados para la fabricación de diferentes elementos y que son óptimos para su uso en diferentes tipos de estructuras metálicas.

Tabla 10. Propiedades mecánicas recomendadas para los aceros estructurales

<b>Propiedades Mecánicas Aceros Estructurales</b>	
Módulo de elasticidad:	210 000 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad transversal:	81 000 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson:	0,3
Coefficiente de dilatación lineal:	12x10 <sup>-6</sup> °C
Densidad:	7 850 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>

Como conclusión se tiene que el acero ASTM A36 con buenas propiedades mecánicas que tiene una resistencia que está dentro del rango de los aceros utilizados en la construcción de bastidores.

## **DISEÑO DEL BASTIDOR**

Para diseño de bastidores de vehículos pesados se toma en cuenta que se va a transportar grandes masas, lo que condiciona las características técnicas y constructivas que deben poseer.

Los principales factores a tomar en cuenta para el diseño son las dimensiones del vehículo, la carga que se va a transportar, la rigidez y el proceso de fabricación.

Además, debe considerarse la estabilidad de los miembros estructurales, la capacidad de carga de las uniones, la fabricación y el montaje final en el vehículo.

De los diferentes tipos de bastidores que existen se elige el bastidor tipo escalera, ya que es el más utilizado en este tipo de vehículos debido a que se puede adaptar a cualquier tipo de carrocería brindando así mayor facilidad de carrozado. El bastidor tipo escalera nos ofrece alta rigidez estructural y sencillez de fabricación y ensamblado.



## Dimensionamiento del bastidor

En el Ecuador se importa diferentes tipos de chasis para autobús, los que se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 11. Dimensiones del Chasis HINO AK8JRSA

Parámetro	Dimensiones [mm]
Longitud total	11 140
Ancho total (sin carrocería)	2 450
Distancia entre ejes	5 800

Fuente: Manual de carrozado HINO

El chasis para autobús marca Mercedes Benz tiene las características mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 12. Dimensiones del Chasis Mercedes Benz 1721

Parámetro	Dimensiones [mm]
Longitud total	11 769
Ancho total (sin carrocería)	2 451
Distancia entre ejes	5 950

Fuente: AUTEK

El chasis para autobús de la marca Volkswagen tiene las características mostradas a continuación.

Tabla 13. Dimensiones del Chasis Volkswagen 17.210

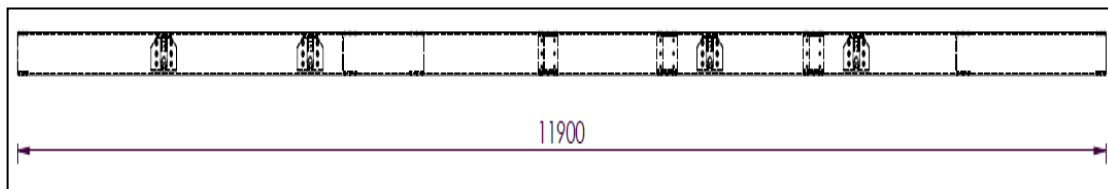
Parámetro	Dimensiones [mm]
Longitud total	10 540
Ancho total (sin carrocería)	2 453
Distancia entre ejes	5 950
Voladizo anterior	2 040
Voladizo posterior	2 550
Distancia entre largueros	895

Distancia entre travesaños	Variable
----------------------------	----------

Fuente: DINA

Con las dimensiones mostradas en las tablas anteriores se ha realizado el dimensionamiento. Para la longitud de los largueros, se toma en cuenta que las carrocerías que se montan sobre el chasis son de entre 12 000 mm a 12 500 mm de longitud, por esa razón los largueros del bastidor son de 11 900 mm de longitud, como se muestra en la Figura 1.

Figura1. Larguero



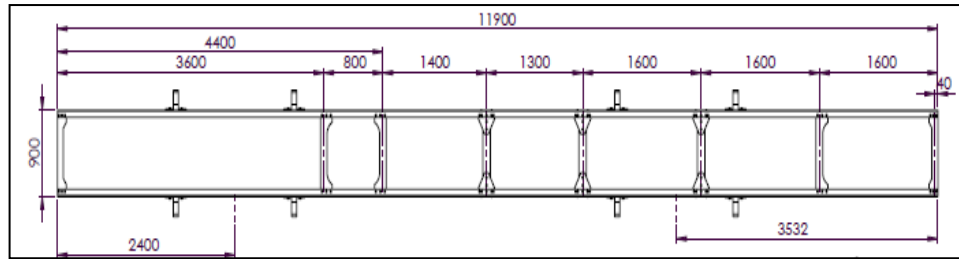
Fuente: Autores.

La distancia entre ejes es de 6 000 mm, favoreciendo a que se pueda montar una carrocería con un mayor voladizo posterior que según la norma NTE INEN 1323 debe ser el 66 % de la distancia entre ejes.

Para la separación entre los largueros se debe tomar en cuenta que la distancia entre los mismos no tiene que superar los 900 mm, ya que si hay más separación entre estos, no quedaría espacio suficiente para la suspensión de ballestas debido a que el ancho de los paquetes de ballestas es de 90 mm y el ancho de cada neumático es de 295 mm.

Los travesaños que se van unir a los largueros son ocho, y van distribuidos a lo largo del bastidor, la distancia entre travesaños es variable y depende de los elementos que van a estar unidos a cada travesaño. Como el diseño es para un autobús con motor delantero y tracción posterior, se tiene un espacio de 3 600mm en la parte delantera del bastidor.

Figura 2. Distribución de travesaños



Fuente: Autores

### Análisis de Cargas

En toda clase de vehículos se tiene que considerar dos tipos de cargas que sumadas dan la carga a ser transportada. Estas cargas son la carga viva la cual está conformada por el peso de los ocupantes y el equipaje; y la carga muerta la que consta del peso propio de la estructura y los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos.

Tabla 14. Cargas vivas de diseño

<b>Cargas vivas</b>				
<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 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
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

Para el cálculo de la carga viva se consideran los datos proporcionados por la Norma INEN 1323, la cual establece que para un autobús de transporte urbano el peso por ocupante es de 70 kg, y se debe considerar también el peso del conductor y del ayudante. En el caso de autobús urbano no se tiene bodegas, por lo que no se considera esta carga. El detalle de los pasajeros se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 15. Carga de pasajeros y tripulantes

Descripción	Peso individual [kg]	Capacidad	Peso [kg]
Pasajeros sentados	70	43	3010
Pasajeros parados	70	41	2870
Conductor	70	1	70
Ayudante	70	1	70
<b>Total = 6020 kg</b>			

Fuente: Autores

Las cargas muertas son aquellas que van a estar permanentemente sobre la estructura del bastidor como son: la carrocería y los elementos del chasis, en la siguiente tabla se muestra las cargas muertas de una carrocería de bus interprovincial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Cálculos del bastidor y uniones empernadas

Como primer paso se calcula la masa de carga útil que va a soportar el chasis sabiendo que la masa bruta vehicular es de 17 000 kg.

### 2. Cálculo de la masa útil del chasis.

Masa máxima carga útil = masa admisible sobre el eje – tara sobre el eje (1)

Eje delantero:

$$\text{Masa útil} = 6\,000\text{ kg} - 1\,760\text{ kg}$$

$$\text{Masa útil} = 4\,240\text{ kg}$$

Eje posterior:

$$\text{Masa útil} = 11\,000\text{ kg} - 3\,230\text{ kg}$$

$$\text{Masa útil} = 7\,770\text{ kg}$$

$$\text{Masa total de carga útil} = 4\,240\text{ kg} + 7\,770\text{ kg} \quad (2)$$

$$\text{Masa total de carga útil} = 12\,010\text{ kg}$$

### 1. Distribución de pesos.

Eje Delantero:

La distribución del peso sin carrocería para el eje delantero es mucho menor al del eje posterior y es el siguiente:

$$m_1 = 1\,760\text{ kg} \rightarrow 36\%$$

Con carrocería:

$$\text{masa del bastidor en el eje delantero } (m_1) = 1\,760\text{ kg}$$

$$\text{masa de la carrocería con pasajeros en el eje delantero } (m_2) = 3\,500\text{ kg}$$

$$m_1 + m_2 = m_t \quad (3)$$

$$m_t = 1\,760\text{ kg} + 3\,500\text{ kg}$$

$$m_t = 5\,260\text{ kg}$$

Eje Posterior:

El peso correspondiente al eje posterior sin carrocería es el siguiente:

$$m_1 = 3\,228\text{ kg} \rightarrow 64\%$$

Con carrocería:

$$\text{masa del bastidor en el eje posterior } (m_1) = 3\,228\text{ kg}$$

$$\text{masa de la carrocería con pasajeros en el eje posterior } (m_2) = 6\,500\text{ kg}$$

$$m_1 + m_2 = m_t$$

$$m_t = 3\,228\text{ kg} + 6\,500\text{ kg}$$

$$m_t = 9\,728\text{ kg}$$

Para los cálculos de carga del bastidor se utiliza el largo total del bastidor el cual se mencionó anteriormente y es el siguiente:

$$\text{Longitud total} = 11\,900\text{ mm}$$

El peso que debe soportar el bastidor depende tanto de la carga útil que se requiere para el diseño y del largo el cual se designó con anterioridad de la siguiente manera:

$$q = \frac{\text{Masa total de carga útil}}{\text{Longitud total}} \quad (4)$$

$$q = \frac{12\,010\text{ kg}}{11,9\text{ m}}$$

$$q = 1\,009,24 \text{ kg/m}$$

Este peso de 1 009,24 Kg/m, es la carga distribuida máxima sobre los largueros de la estructura del bastidor.

2. *Cálculo de la unión empernada.* Es necesario realizar el cálculo de la unión entre los soportes de ballestas y el larguero, para validar la misma. Para las uniones se utiliza el perno M16x40

Figura 4. Perno



Fuente: Autores.

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi r^2$$

(5)

$$d = 16 \text{ mm}$$

Carga máxima eje delantero:

$$M_{m\acute{a}x} = 6\,000 \text{ kg}$$

$$\downarrow F = 58\,860 \text{ N}$$

Para cada lado:

$$c/u \downarrow F = 29\,430 \text{ N}$$

Como se tiene dos soportes de ballesta (manos) por lado entonces la fuerza ejercida es:

$$c/mano \downarrow F = 14\,715 \text{ N}$$

Como se tiene seis pernos en cada mano o soporte de ballestas, entonces se considera el área nominal de cada perno que es de 157 mm<sup>2</sup>.

Carga máxima eje posterior:

$$M_{m\acute{a}x} = 11\,000 \text{ kg}$$

$$\downarrow F = 107\,910 \text{ N}$$

Para cada lado:

$$c/u \downarrow F = 53\,955 \text{ N}$$

Como se tiene dos manos por lado entonces la fuerza ejercida en cada una es de:

$$c/mano \downarrow F = 26\,977,5\text{ N}$$

Como se tiene seis pernos en cada mano, cada uno tiene un área nominal de  $157\text{ mm}^2$ .

### Cálculo unión empernada manos eje delantero

Esfuerzo cortante =  $14\,715\text{ N}$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad (6)$$

$F_{v, Ed}$  = Esfuerzo cortante que en este caso es de  $14\,715\text{ N}$

$F_{v, Rd}$  = Resistencia a cortante de la unión para el tipo de perno empleado

$$F_{v, Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A_s \times N}{\gamma_{Mb}} \quad (7)$$

Donde:

Área resistente a tracción del perno =  $A_s = 157\text{ mm}^2$

Tensión última a tracción del perno =  $f_{ub} = 329,8\text{ N/mm}^2$

$N$  = número de pernos de la unión

Coefficiente de minoración del acero estructural para uniones =  $\gamma_{Mb} = 1,25$

$$F_{v, Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A_s \times 6}{\gamma_{Mb}}$$
$$F_{v, Rd} = \frac{0,6 \times 329,8\text{ N/mm}^2 \times 157\text{ mm}^2 \times 6}{1,25}$$
$$F_{v, Rd} = 149\,122,37\text{ N}$$

El esfuerzo cortante que actúa sobre la unión entre el perfil en U del larguero y el soporte de ballestas delantero es de  $14\,715\text{ N}$  que resulta inferior al valor de resistencia que tiene la unión:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$
$$\frac{14\,715\text{ N}}{149\,122,37\text{ N}} \leq 1,0$$
$$0,09 \leq 1$$

Por lo tanto la unión empernada en el eje delantero es válida.

Es necesario realizar la comprobación en la unión para que tampoco se produzca el aplastamiento de la pieza en la zona contigua al perno. La resistencia de aplastamiento de la pieza en la zona contigua al perno  $F_{b,Rd}$  viene dada por la siguiente expresión (Méndez Ernesto):

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \quad (8)$$

Donde  $d$  es el diámetro y es igual a 16 mm,  $t = 8$  mm, espesor de la pieza donde se ha practicado el agujero para anclar los pernos y  $f_u$  es la resistencia a tracción del acero de la pieza que en este caso es de acero ASTM A36 con resistencia última a la tracción de  $f_u = 400 \text{ MPa} = 400 \text{ N/mm}^2$ .

□ es el menor valor de:

$$a = \frac{f_{ub}}{f_u}, \text{ ó bien } 1,0$$

Dónde:  $Y_{mb}$  es el coeficiente de minoración del acero estructural para uniones

$$Y_{mb} = 1,25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 16 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 102\,400 \text{ N}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{14\,715 \text{ N}}{102\,400 \text{ N}} \leq 1,0$$

$$0,14 \leq 1$$

## CONCLUSIONES

Se concluyó que los materiales usados para estructuras de bastidores de vehículos pesados deben ser aceros con un mínimo de 200 MPa de límite de fluencia, ya que si tenemos materiales de menor resistencia, tendremos que usar perfiles con espesores muy grandes que harán que la estructura del bastidor sea demasiado pesada.

El diseño que se realizó mediante las herramientas de software, permitió modelar un bastidor para autobús el cuál ofrecerá un rápido ensamblaje de los elementos que conforman el chasis y la facilidad de carrozado.

La verificación del diseño realizada por análisis estático en ANSYS mostró una deflexión máxima de 7 mm y un coeficiente de seguridad mínimo de 1,7 para bus urbano, mientras en el análisis para bus interprovincial se obtuvo un factor de seguridad de 1,5 y una deformación máxima de 8,37 mm.

En el estudio de factibilidad se pudo determinar que la construcción de los travesaños del bastidor es viable, sin embargo para los largueros se necesita utilizar un perfil de doce metros lo cual a nivel nacional no se fabrica y debido a esto se utilizarían dos perfiles de seis metros, mediante una junta soldada y empernada, la cual deberá ser analizada para determinar el proceso de soldadura a utilizar



y si ésta junta va a soportar los esfuerzos producidos, debido que en vehículos pesados no se usan juntas soldadas en los bastidores debido a las vibraciones producidas por el funcionamiento del vehículo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un laboratorio de computación mejor equipado con software y hardware actualizado para cumplir con los requerimientos necesarios para un análisis dinámico del chasis con el fin de tener una idea más precisa de cómo va a ser el comportamiento del mismo.

Es importante tomar en cuenta todas las cargas ya sean puntuales o distribuidas dentro del análisis por MEF. Se debe también realizar una convergencia de resultados verificando la calidad de la malla y su resolución.

Se recomienda realizar un estudio de la junta para realizar la unión de los perfiles en U de los largueros.

## Referencias

AEADE. 2014. 2014.

ANANDRAJ, H. 1995. Stress analysis of light commercial vehicle chassis by FEM. Stress analysis of light commercial vehicle chassis by FEM. [Online] 1995. [Cited: marzo 25, 2015.] [www.stressanalysisofheavydutytruck.uk](http://www.stressanalysisofheavydutytruck.uk).

HINO, Motors. 2002. Manual de montaje de carrocerías. Tokio : s.n., 2002.

MÉNDEZ, Ernesto. ingemecanica. ingemecanica. [Online] Revista electrónica. Electronical Journal. ISSN 1815-5944. [www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu](http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu).

MOTT, Robert L. 2009. Resistencia de materiales. Buenos Aires : Pearson Prentice Hall, 2009.

PÉREZ, Ivan. 2008. ingemecánica. ingemecánica. [Online] 2008. [Cited: mayo 15, 2015.] [www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html](http://www.ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html).

ROBERTSON, Jonh. 2002. An introduction to modern vehicle design. chassis design. Oxford : s.n., 2002.

SHIGLEY, Edward. 2004. Diseño en Ingeniería Mecánica. Diseño en Ingeniería Mecánica.  
Michigan : Mc Graw - Hill, 2004.

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).