



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

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

**CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DE  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN  
AERODINÁMICA DE LA CARROCERÍA DE UN BUS  
INTERPROVINCIAL MODELO GR DE LA EMPRESA OLÍMPICA  
QUITO**

**AUTORES: CARLOS VINICIO BELTRAN HERRERA  
JOSÉ OMAR GARRIDO VILLACIS**

**DIRECTOR: ING. GUIDO TORRES**

**LATACUNGA**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación **“ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN AERODINÁMICA DE LA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL MODELO GR DE LA EMPRESA OLÍMPICA QUITO”** realizado por los señores **CARLOS VINICIO BELTRAN HERRERA Y JOSE OMAR GARRIDO VILLACIS**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **CARLOS VINICIO BELTRAN HERRERA Y JOSE OMAR GARRIDO VILLACIS** para que lo sustenten públicamente.

A handwritten signature in blue ink is positioned above a horizontal dashed line. The signature is stylized and appears to read 'G. Torres'.

Ing. GUIDO TORRES  
**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **CARLOS VINICIO BELTRAN HERRERA**, con cédula de ciudadanía N° 1721873980, y **JOSE OMAR GARRIDO VILLACIS**, con cédula de ciudadanía N° 1721068706, declaramos que este trabajo de titulación “**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN AERODINÁMICA DE LA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL MODELO GR DE LA EMPRESA OLÍMPICA QUITO**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Seguidamente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación antes mencionada.

---

CARLOS VINICIO BELTRAN HERRERA  
C.C.: 1721873980

---

JOSE OMAR GARRIDO VILLACIS  
C.C.: 1721068706



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **CARLOS VINICIO BELTRAN HERRERA Y JOSE OMAR GARRIDO VILLACIS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN AERODINÁMICA DE LA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL MODELO GR DE LA EMPRESA OLÍMPICA QUITO**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

CARLOS VINICIO BELTRAN HERRERA

C.C.: 1721873980

JOSE OMAR GARRIDO VILLACIS

C.C.: 1721068706

## DEDICATORIA

Quiero agradecer y dedicar este logro a mis padres, José Garrido y Amparito Villacís quienes estuvieron siempre presentes apoyándome y guiándome por el camino, por sus consejos y creer en mí, a mis abuelitos Nelson Villacís y Teresa García por ayudarme y estar presente siempre en mi vida, a mi hermana Paola quien ha estado presente en cada etapa importante de mi vida y a toda mi familia por siempre estar en los buenos o malos momentos acompañándome y guiándome.

Dedico este triunfo a cada una de las personas que estuvieron en cada etapa de mi vida estudiantil guiándome, dándome consejos y apoyándome, muchas veces que estaba declinando y por ayudar a levantarme, por ser confidentes y amigos.

**Omar G.**

El presente proyecto se lo dedico con mucho cariño y gratitud a mi madre, amiga incondicional y eterna consejera Gladys Herrera por su apoyo en los momentos difíciles en el transcurso de mis estudios universitarios. A mi padre Pablo Beltrán por su sacrificio constante, por su paciencia, por creer en mí y motivarme a ser un profesional.

A mi hermano David por su cariño y apoyo con quien comparto los buenos y malos momentos, triunfos y derrotas.

A mis tíos que de una u otra manera me apoyaron cuando más necesitaba, por ser un ejemplo y saber aconsejarme en los momentos críticos.

**Carlos**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, por permitirme formar parte y recibir una formación profesional, a la carrera de Ingeniería Automotriz por ser una gran familia unida y todos los docentes de esta gran carrera que a más de ser profesores supieron ser amigos guiándonos por la vida y sus consejos.

A mis padres por su tiempo, que a pesar de los malos momentos siempre supieron encontrar la forma de sacarme adelante, por sus desvelos y sobre todo por su gran esfuerzo y por siempre poner por delante de todo el futuro de mi hermana y el mío.

A todas las personas que tuve el gusto y el honor de conocer en la universidad, muchas de las cuales se convirtieron en pilares fundamentales y consejeros para poder seguir adelante con esta gran meta que hoy la estoy cumpliendo, muchas amistades ganadas que nunca se olvidaran y siempre formaran parte de mi vida.

**Omar G.**

A la vida por haberme dado a mis padres quienes confiaron en mí y me brindaron su apoyo en todo momento sin importar las dificultades que se presentaban.

A mi hermano por siempre estar ahí apoyándome, compartiendo agradables momentos y contar con él cuando más lo necesito

A la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” y docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz ya que gracias a ellos me realice como profesional.

A nuestro director del proyecto de titulación Ing. Guido Torres por su apoyo, consejos y conocimientos compartidos que permitieron culminar de la mejor manera el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Camilo Rosales gerente propietario de la empresa Carrocerías Olímpica Quito por brindarnos la información necesaria para que el presente proyecto se haya realizado.

A mis tíos por el cariño y consejos que me supieron compartir en especial a Hugo, Walter, Nelly y Steven por brindarme su apoyo cuando más lo necesite permitiéndome cumplir el objetivo de ser un profesional.

**Carlos**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| CARÁTULA.....                    | i     |
| CERTIFICACIÓN.....               | ii    |
| AUTORIA DE RESPONSABILIDAD ..... | iii   |
| AUTORIZACIÓN .....               | iv    |
| DEDICATORIA.....                 | v     |
| AGRADECIMIENTO.....              | vii   |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS.....        | ix    |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....           | xvi   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....           | xx    |
| ÍNDICE DE ECUACIONES.....        | xxii  |
| RESUMEN.....                     | xxiii |
| ABSTRACT .....                   | xxiv  |

## CAPÍTULO I

|                                                 |          |
|-------------------------------------------------|----------|
| <b>GENERALIDADES .....</b>                      | <b>1</b> |
| 1.1.    Antecedentes .....                      | 1        |
| 1.2.    Planteamiento del problema.....         | 3        |
| 1.3.    Descripción resumida del proyecto ..... | 4        |
| 1.4.    Justificación e importancia .....       | 5        |
| 1.5.    Objetivos del proyecto.....             | 6        |
| 1.5.1.    Objetivo general .....                | 6        |
| 1.5.2.    Objetivos específicos .....           | 6        |
| 1.6.    Metas .....                             | 7        |
| 1.7.    Hipótesis .....                         | 8        |

|        |                                 |   |
|--------|---------------------------------|---|
| 1.8.   | Variables de investigación..... | 8 |
| 1.8.1. | Variable Independiente .....    | 8 |
| 1.8.2. | Variable Dependiente.....       | 8 |

## **CAPÍTULO II**

|        |                                                |          |
|--------|------------------------------------------------|----------|
|        | <b>MARCO TEÓRICO .....</b>                     | <b>9</b> |
| 2.1.   | Carrocerías .....                              | 9        |
| 2.2.   | Clasificación de vehículos de transporte ..... | 9        |
| 2.2.1. | Microbús.....                                  | 9        |
| 2.2.2. | Ómnibus.....                                   | 10       |
| 2.2.3. | Transporte urbano.....                         | 13       |
| 2.2.4. | Transporte interprovincial.....                | 13       |
| 2.2.5. | Transporte de turismo. ....                    | 14       |
| 2.2.6. | Transporte institucional .....                 | 14       |
| 2.3.   | Chasis o bastidor .....                        | 15       |
| 2.3.1. | Diseño de bastidor. ....                       | 15       |
| 2.3.2. | Características fundamentales del chasis. .... | 17       |
| 2.3.3. | Tipos de bastidores .....                      | 18       |
| 2.3.4. | Materiales del bastidor .....                  | 19       |
| 2.4.   | Tipos de carrocerías.....                      | 21       |
| 2.4.1. | Carrocería con chasis plataforma.....          | 21       |
| 2.4.2. | Carrocería con chasis independiente.....       | 22       |
| 2.4.3. | Carrocería autoportante o compacta.....        | 23       |
| 2.5.   | Componentes de una carrocería.....             | 24       |
| 2.5.1. | Estructura del panel del piso .....            | 24       |

|         |                                                                                                                      |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.2.  | Estructura de los paneles laterales .....                                                                            | 24 |
| 2.5.3.  | Estructura de los paneles frontal y posterior .....                                                                  | 25 |
| 2.5.4.  | Estructura del panel del techo .....                                                                                 | 25 |
| 2.6.    | Aceros estructurales.....                                                                                            | 26 |
| 2.6.1.  | Propiedades de los aceros estructurales .....                                                                        | 26 |
| 2.7.    | Normas y reglamentos nacionales aplicados en el diseño y construcción de carrocerías de buses interprovinciales..... | 29 |
| 2.7.1.  | Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 043:2010) .....                                                             | 29 |
| 2.7.2.  | Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009) .....                                                                 | 29 |
| 2.8.    | El Fenómeno de una colisión .....                                                                                    | 30 |
| 2.9.    | Impacto frontal .....                                                                                                | 31 |
| 2.9.1.  | Colisión totalmente frontal.....                                                                                     | 31 |
| 2.9.2.  | Colisión descentrada.....                                                                                            | 32 |
| 2.10.   | Normativas internacionales aplicadas en ensayos de impacto .....                                                     | 33 |
| 2.10.1. | Insurance Institute for Highway Safety (IIHS).....                                                                   | 33 |
| 2.10.2. | National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) .....                                                         | 35 |
| 2.10.3. | Euro-NCAP .....                                                                                                      | 35 |
| 2.11.   | Método de elementos finitos (MEF).....                                                                               | 36 |
| 2.11.1. | Tipos de elementos .....                                                                                             | 37 |
| 2.11.2. | Elementos tipo cáscaras (shell) .....                                                                                | 38 |
| 2.11.3. | Shell 163 .....                                                                                                      | 39 |
| 2.11.4. | Reloj de arena “Hourglass” .....                                                                                     | 39 |
| 2.11.5. | Proceso de resolución mediante el Método de Elementos Finitos ...                                                    | 41 |
| 2.12.   | Aerodinámica automotriz.....                                                                                         | 42 |
| 2.13.   | Propiedades del aire .....                                                                                           | 43 |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 2.13.1. Fluido .....                              | 43 |
| 2.13.2. Densidad .....                            | 44 |
| 2.13.3. Viscosidad .....                          | 44 |
| 2.13.5. Efecto Venturi.....                       | 46 |
| 2.13.6. Flujo laminar y turbulento .....          | 47 |
| 2.13.7. Número de Reynolds.....                   | 48 |
| 2.13.8. Efecto Coanda .....                       | 49 |
| 2.13.9. Estela .....                              | 49 |
| 2.14. Fuerzas implicadas en la aerodinámica ..... | 50 |
| 2.14.1. Fuerza de sustentación .....              | 50 |
| 2.14.2. Fuerza de resistencia al avance.....      | 52 |
| 2.14.3. Potencia .....                            | 53 |

### **CAPITULO III**

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CARROCERÍA.....</b>                                             | <b>55</b> |
| 3.1. Introducción.....                                                                      | 55        |
| 3.1.1. Especificaciones y descripción de la carrocería .....                                | 55        |
| 3.1.2. Especificaciones de perfiles empleados.....                                          | 57        |
| 3.2. Cargas que actúan en una superestructura .....                                         | 58        |
| 3.2.1. Cargas de Flexión .....                                                              | 58        |
| 3.2.2. Cargas de torsión.....                                                               | 59        |
| 3.2.3. Cargas laterales .....                                                               | 60        |
| 3.2.4. Cargas de frenado y aceleración brusca.....                                          | 60        |
| 3.3. Requisitos de cargas aplicadas bajo el criterio de la norma NTE<br>INEN 1323:2009..... | 61        |

|        |                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1. | Carga muerta (CM) .....                                  | 62 |
| 3.3.2. | Carga viva (CV).....                                     | 63 |
| 3.3.3. | Carga de frenado (CF) .....                              | 65 |
| 3.3.4. | Carga de aceleración brusca (CAb) .....                  | 66 |
| 3.3.5. | Carga de giro (CG).....                                  | 67 |
| 3.3.6. | Carga por resistencia del aire frontal ( $R_{af}$ )..... | 70 |
| 3.4.   | Combinaciones de cargas.....                             | 72 |
| 3.4.1. | Método ASD (Allowable Strength Desing).....              | 72 |
| 3.4.2. | Método LRFD (Load Resistance Factor Design).....         | 73 |

## **CAPÍTULO IV**

|        |                                                                    |           |
|--------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
|        | <b>ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO DE LA CARROCERÍA .....</b>         | <b>74</b> |
| 4.1.   | Selección del software .....                                       | 74        |
| 4.1.1. | Autodesk Robot Strutral Analysis Professional (version demo) ..... | 74        |
| 4.1.2. | ANSYS (versión demo) .....                                         | 74        |
| 4.1.3. | LS- DYNA.....                                                      | 75        |
| 4.2.   | Análisis estático .....                                            | 75        |
| 4.2.1. | Modelado de la geometría.....                                      | 76        |
| 4.2.2. | Asignación de apoyos .....                                         | 76        |
| 4.2.3. | Asignación de materiales y perfiles estructurales .....            | 77        |
| 4.2.4. | Asignación de cargas .....                                         | 79        |
| 4.3.   | Análisis dinámico .....                                            | 81        |
| 4.3.1. | Modelado de la geometría del bus .....                             | 81        |
| 4.3.2. | Asignación de material .....                                       | 82        |
| 4.3.3. | Generación de la malla .....                                       | 83        |

|        |                                       |    |
|--------|---------------------------------------|----|
| 4.3.4. | Condiciones iniciales.....            | 84 |
| 4.3.5. | Ajustes del análisis.....             | 85 |
| 4.3.6. | Soportes fijos .....                  | 86 |
| 4.3.7. | Restricciones de desplazamientos..... | 86 |

## **CAPÍTULO V**

|        |                                                                   |           |
|--------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
|        | <b>TÚNEL DE VIENTO Y PRUEBAS AERODINÁMICAS.....</b>               | <b>87</b> |
| 5.1.   | Túnel de viento.....                                              | 87        |
| 5.1.1. | Túnel Subsónico .....                                             | 87        |
| 5.1.2. | Partes del túnel de viento.....                                   | 88        |
| 5.2.   | Dispositivos electrónicos.....                                    | 89        |
| 5.2.1. | Sensor de presión MPX10DP .....                                   | 90        |
| 5.2.2. | Diseño de la placa.....                                           | 90        |
| 5.2.3. | Arduino Mega.....                                                 | 92        |
| 5.2.4. | Software Labview (Versión Demo).....                              | 92        |
| 5.3.   | Pruebas aerodinámicas en el software .....                        | 93        |
| 5.3.1. | Modelado del autobús.....                                         | 93        |
| 5.3.2. | Parámetros de diseño .....                                        | 94        |
| 5.3.3. | Resultados obtenidos.....                                         | 95        |
| 5.4.   | Primera propuesta del bus con dos alerones .....                  | 100       |
| 5.4.1. | Resultados obtenidos.....                                         | 100       |
| 5.5.   | Segunda propuesta bus con deflector delantero.....                | 104       |
| 5.5.1. | Resultados obtenidos.....                                         | 104       |
| 5.6.   | Procedimiento de pruebas aerodinámicas en el túnel de viento .... | 108       |
| 5.7.   | Pruebas aerodinámicas en el túnel de viento.....                  | 109       |

|        |                                           |     |
|--------|-------------------------------------------|-----|
| 5.7.1. | Análisis bus Original.....                | 109 |
| 5.7.2. | Análisis bus con deflector delantero..... | 118 |
| 5.7.3. | Análisis del bus con dos alerones.....    | 127 |

## **CAPÍTULO VI**

|        |                                                        |            |
|--------|--------------------------------------------------------|------------|
|        | <b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>                     | <b>136</b> |
| 6.1.   | Análisis estático de la estructura.....                | 136        |
| 6.2.   | Análisis de resultado simulación dinámica.....         | 150        |
| 6.2.1. | Deformación.....                                       | 150        |
| 6.2.2. | Esfuerzos.....                                         | 152        |
| 6.2.3. | Análisis de Energía Interna y energía Hourglass.....   | 154        |
| 6.3.   | Análisis de resultados simulaciones aerodinámicas..... | 156        |
| 6.3.1. | Coeficiente de arrastre.....                           | 157        |
| 6.3.2. | Coeficiente de sustentación.....                       | 157        |
| 6.3.3. | Potencia.....                                          | 158        |

## **CAPÍTULO VII**

|  |                                                              |            |
|--|--------------------------------------------------------------|------------|
|  | <b>CONCLUSIONES.....</b>                                     | <b>159</b> |
|  | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                  | <b>161</b> |
|  | <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                                     | <b>162</b> |
|  | <b>NETGRAFIA.....</b>                                        | <b>165</b> |
|  | <b>ANEXOS.....</b>                                           | <b>169</b> |
|  | <b>ANEXO A: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN NTE 1323:2009</b> |            |
|  | <b>ANEXO B: DATASHEET SENSOR MPX10DP</b>                     |            |
|  | <b>ANEXO C: PROGRAMA CIRCUITO SOFTWARE PROTEUS</b>           |            |
|  | <b>ANEXO D: PROGRAMACION SOFTWARE LABVIEW</b>                |            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|           |                                                            |    |
|-----------|------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | Carrocería de un bus .....                                 | 9  |
| Figura 2  | Microbús .....                                             | 10 |
| Figura 3  | Ómnibus .....                                              | 10 |
| Figura 4  | Ómnibus convencional.....                                  | 11 |
| Figura 5  | Ómnibus articulado.....                                    | 12 |
| Figura 6  | Ómnibus bi-articulado.....                                 | 12 |
| Figura 7  | Bus urbano .....                                           | 13 |
| Figura 8  | Bus interprovincial.....                                   | 13 |
| Figura 9  | Transporte de turismo.....                                 | 14 |
| Figura 10 | Transporte institucional.....                              | 14 |
| Figura 11 | Chasis o bastidor .....                                    | 15 |
| Figura 12 | Chasis sometido a cargas de flexión .....                  | 17 |
| Figura 13 | Carga asimétrica causante del par torsor al chasis .....   | 18 |
| Figura 14 | Bastidor.....                                              | 19 |
| Figura 15 | Carrocería con chasis plataforma .....                     | 22 |
| Figura 16 | Carrocería con chasis independiente.....                   | 23 |
| Figura 17 | Carrocería autoportante o compacta .....                   | 23 |
| Figura 18 | Elementos estructurales del bastidor .....                 | 24 |
| Figura 19 | Estructura de los paneles laterales .....                  | 25 |
| Figura 20 | Estructura del panel del techo .....                       | 26 |
| Figura 21 | Curva esfuerzo - deformación.....                          | 27 |
| Figura 22 | Colisión totalmente frontal .....                          | 32 |
| Figura 23 | Colisión descentrada .....                                 | 33 |
| Figura 24 | Prueba frontal de superposición moderada .....             | 34 |
| Figura 25 | Prueba frontal de traslapo.....                            | 35 |
| Figura 26 | Elementos finitos comunes .....                            | 37 |
| Figura 27 | Cáscara modelizada mediante elementos planos .....         | 39 |
| Figura 28 | Elemento shell de 8 nodos con seis grados de libertad..... | 39 |
| Figura 29 | Modos de Hourglass .....                                   | 40 |
| Figura 30 | Cáscara modelizada mediante elementos planos .....         | 40 |



|           |                                                                                                                                                      |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 31 | Aerodinámica automotriz .....                                                                                                                        | 43 |
| Figura 32 | Viscosidad .....                                                                                                                                     | 44 |
| Figura 33 | Gradiente de velocidad en un fluido en movimiento .....                                                                                              | 45 |
| Figura 34 | Efecto venturi.....                                                                                                                                  | 46 |
| Figura 35 | Flujo laminar y turbulento.....                                                                                                                      | 47 |
| Figura 36 | Efecto coanda.....                                                                                                                                   | 49 |
| Figura 37 | Estela.....                                                                                                                                          | 50 |
| Figura 38 | Sustentación .....                                                                                                                                   | 51 |
| Figura 39 | Fuerza de resistencia al avance .....                                                                                                                | 52 |
| Figura 40 | Fuerza Aerodinámica Total Resultante.....                                                                                                            | 53 |
| Figura 41 | Chasis Volkswagen 17210 OD .....                                                                                                                     | 56 |
| Figura 42 | Perfiles empleados .....                                                                                                                             | 58 |
| Figura 43 | Cargas de flexión .....                                                                                                                              | 59 |
| Figura 44 | Cargas de torsión.....                                                                                                                               | 59 |
| Figura 45 | Cargas laterales.....                                                                                                                                | 60 |
| Figura 46 | Perfiles empleados .....                                                                                                                             | 61 |
| Figura 47 | Aplicación de carga muerta .....                                                                                                                     | 63 |
| Figura 48 | Aplicación de carga viva .....                                                                                                                       | 64 |
| Figura 49 | Aplicación carga de frenado .....                                                                                                                    | 66 |
| Figura 50 | Aplicación carga de aceleración brusca.....                                                                                                          | 67 |
| Figura 51 | Aplicación de carga de giro.....                                                                                                                     | 69 |
| Figura 52 | Aplicación carga de aire frontal.....                                                                                                                | 71 |
| Figura 53 | Modelado en forma alámbrica de la estructura.....                                                                                                    | 76 |
| Figura 54 | Asignación de apoyos a los elementos estructurales .....                                                                                             | 77 |
| Figura 55 | Configuración del material en Robot Structural .....                                                                                                 | 78 |
| Figura 56 | Configuración de los perfiles empleados .....                                                                                                        | 78 |
| Figura 57 | Asignación de perfiles estructurales en el modelado.....                                                                                             | 79 |
| Figura 58 | a) Carga muerta b) carga viva c) carga de frenado d) carga de<br>aceleración brusca e) carga de giro f) carga de resistencia al<br>aire frontal..... | 80 |
| Figura 59 | Modelado de la estructura .....                                                                                                                      | 82 |

|           |                                                                 |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 60 | Configuración del acero ASTM A500 en Engineering Data .....     | 83  |
| Figura 61 | Importación de la geometría en ANSYS (Versión Demo) .....       | 83  |
| Figura 62 | Generación de la malla de la carrocería .....                   | 84  |
| Figura 63 | Gráfico estadístico de acuerdo al radio Jacobiano .....         | 84  |
| Figura 64 | Aplicación de la velocidad de simulación de la estructura ..... | 85  |
| Figura 65 | Tiempo de finalización de la simulación.....                    | 85  |
| Figura 66 | Aplicación de soporte fijo a la pared .....                     | 86  |
| Figura 67 | Selección de los elementos con restricción de movimiento .....  | 86  |
| Figura 68 | Túnel de viento subsónico .....                                 | 88  |
| Figura 69 | Partes del túnel de viento .....                                | 89  |
| Figura 70 | Sensor de presión MPX 10DP .....                                | 90  |
| Figura 71 | Diseño del circuito acondicionador de señal.....                | 91  |
| Figura 72 | Vista previa del circuito realizado .....                       | 91  |
| Figura 73 | Tarjeta de adquisición de datos Arduino.....                    | 92  |
| Figura 74 | Modelado del autobús.....                                       | 93  |
| Figura 75 | Presión dinámica vista lateral .....                            | 96  |
| Figura 76 | Presión dinámica vista superior .....                           | 96  |
| Figura 77 | Turbulencia vista lateral .....                                 | 97  |
| Figura 78 | Turbulencia vista superior.....                                 | 97  |
| Figura 79 | Presión vista lateral.....                                      | 98  |
| Figura 80 | Trayectoria del fluido en el modelo original.....               | 98  |
| Figura 81 | Vista de la turbulenta en la parte posterior .....              | 99  |
| Figura 82 | Presión dinámica vista lateral bus con dos alerones .....       | 100 |
| Figura 83 | Presión dinámica vista superior bus con dos alerones .....      | 101 |
| Figura 84 | Turbulencia vista lateral bus con dos alerones .....            | 101 |
| Figura 85 | Turbulencia vista superior bus con dos alerones.....            | 102 |
| Figura 86 | Presión vista lateral bus con dos alerones.....                 | 102 |
| Figura 87 | Trayectoria del aire vista lateral bus con dos alerones .....   | 103 |
| Figura 88 | Flujo en forma turbulenta del bus con dos alerones .....        | 103 |
| Figura 89 | Presión dinámica vista lateral bus con deflector .....          | 104 |
| Figura 90 | Presión dinámica vista superior bus con deflector .....         | 105 |

|            |                                                                |     |
|------------|----------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 91  | Turbulencia vista lateral bus con deflector.....               | 105 |
| Figura 92  | Turbulencia vista superior bus con deflector.....              | 106 |
| Figura 93  | Presión vista lateral bus con deflector .....                  | 106 |
| Figura 94  | Trayectoria del aire vista lateral bus con deflector .....     | 107 |
| Figura 95  | Flujo en forma turbulenta del bus con deflector .....          | 107 |
| Figura 96  | Ubicación y distancia de los sensores en el Bus, vista lateral | 109 |
| Figura 97  | Ubicación de los sensores en el Bus, vista superior .....      | 109 |
| Figura 98  | Diagrama BoxPlot sensor 1 en el diseño sin alerones.....       | 111 |
| Figura 99  | Diagrama BoxPlot sensor 2 en el diseño sin alerones.....       | 112 |
| Figura 100 | Diagrama BoxPlot sensor 3 en el diseño sin alerones.....       | 114 |
| Figura 101 | Diagrama BoxPlot sensor 4 en el diseño sin alerones.....       | 115 |
| Figura 102 | Diagrama BoxPlot sensor 5 en el diseño sin alerones.....       | 117 |
| Figura 103 | Programa con valores del Bus sin alerones.....                 | 117 |
| Figura 104 | Ubicación y distancia de los sensores en el Bus, vista lateral | 118 |
| Figura 105 | Ubicación de los sensores en el Bus, vista superior .....      | 118 |
| Figura 106 | Diagrama BoxPlot sensor 1 en el diseño con un alerón .....     | 120 |
| Figura 107 | Diagrama BoxPlot sensor 2 en el diseño con un alerón .....     | 121 |
| Figura 108 | Diagrama BoxPlot sensor 3 en el diseño con un alerón .....     | 123 |
| Figura 109 | Diagrama BoxPlot sensor 4 en el diseño con un alerón .....     | 124 |
| Figura 110 | Diagrama BoxPlot sensor 5 en el diseño con un alerón .....     | 126 |
| Figura 111 | Programa con valores del Bus con un alerón .....               | 126 |
| Figura 112 | Ubicación y distancia de los sensores en el Bus, vista lateral | 127 |
| Figura 113 | Ubicación de los sensores en el Bus, vista superior .....      | 127 |
| Figura 114 | Diagrama BoxPlot sensor 1 en el diseño con dos alerones....    | 129 |
| Figura 115 | Diagrama BoxPlot sensor 2 en el diseño con dos alerones....    | 130 |
| Figura 116 | Diagrama BoxPlot sensor 3 en el diseño con dos alerones....    | 132 |
| Figura 117 | Diagrama BoxPlot sensor 4 en el diseño con dos alerones....    | 133 |
| Figura 118 | Diagrama BoxPlot sensor 5 en el diseño con dos alerones....    | 135 |
| Figura 119 | Programa con valores del Bus con dos alerones.....             | 135 |
| Figura 120 | Aplicación de primera combinación .....                        | 138 |
| Figura 121 | Resultados primera combinación.....                            | 138 |

|            |                                                             |     |
|------------|-------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 122 | Aplicación segunda combinación.....                         | 139 |
| Figura 123 | Resultados segunda combinación .....                        | 140 |
| Figura 124 | Aplicación tercera combinación .....                        | 141 |
| Figura 125 | Resultados tercera combinación.....                         | 141 |
| Figura 126 | Aplicación cuarta combinación .....                         | 142 |
| Figura 127 | Resultados cuarta combinación.....                          | 143 |
| Figura 128 | Aplicación quinta combinación.....                          | 144 |
| Figura 129 | Resultados quinta combinación .....                         | 144 |
| Figura 130 | Aplicación sexta combinación.....                           | 145 |
| Figura 131 | Resultados sexta combinación .....                          | 146 |
| Figura 132 | Aplicación séptima combinación .....                        | 147 |
| Figura 133 | Resultados séptima combinación .....                        | 147 |
| Figura 134 | Aplicación octava combinación .....                         | 148 |
| Figura 135 | Resultados octava combinación .....                         | 149 |
| Figura 136 | Deformación de la estructura en Software LSDYNA.....        | 150 |
| Figura 137 | Deformación de la estructura en Software LSPREPOST .....    | 151 |
| Figura 138 | Diagrama de desplazamiento vs tiempo .....                  | 151 |
| Figura 139 | Esfuerzo equivalente en el software LSDYNA.....             | 152 |
| Figura 140 | Selección de elementos en la zona del parachoques .....     | 153 |
| Figura 141 | Diagrama Esfuerzo equivalente vs tiempo.....                | 153 |
| Figura 142 | Diagrama Energía interna vs Tiempo .....                    | 154 |
| Figura 143 | Diagrama Energia Hourglass vs Tiempo .....                  | 155 |
| Figura 144 | Diagrama de energía durante la simulación del impacto ..... | 156 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|         |                                                                               |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 | Siniestros por causas probables en buses a nivel nacional<br>abril-2016 ..... | 2  |
| Tabla 2 | Características Acero SAPH440 .....                                           | 20 |

|          |                                                                           |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 3  | Características Acero de alta resistencia FeE420 .....                    | 20  |
| Tabla 4  | Características Bastidor HINO .....                                       | 20  |
| Tabla 5  | Especificaciones Chasis Volkswagen 17.210 OD .....                        | 56  |
| Tabla 6  | Especificaciones de perfiles empleados .....                              | 57  |
| Tabla 7  | Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera .....                 | 68  |
| Tabla 8  | Cargas estáticas y dinámicas .....                                        | 71  |
| Tabla 9  | Combinaciones de carga según el Método ASD.....                           | 72  |
| Tabla 10 | Combinaciones de cargas según el método LRFD .....                        | 73  |
| Tabla 12 | Tamaño del dominio computacional .....                                    | 95  |
| Tabla 13 | Valores finales del cálculo del modelo original.....                      | 99  |
| Tabla 14 | Resumen de resultados bus con dos alerones .....                          | 103 |
| Tabla 15 | Resultados generados por el software bus con deflector<br>delantero ..... | 107 |
| Tabla 16 | Valores sensor 1 en prueba aerodinámica Bus sin alerones .....            | 110 |
| Tabla 17 | Valores reales sensor 1 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 110 |
| Tabla 18 | Valores sensor 2 en prueba aerodinámica Bus sin alerones .....            | 111 |
| Tabla 19 | Valores reales sensor 2 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 112 |
| Tabla 20 | Valores sensor 3 en prueba aerodinámica Bus sin alerones .....            | 113 |
| Tabla 21 | Valores reales sensor 3 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 113 |
| Tabla 22 | Valores sensor 4 en prueba aerodinámica Bus sin alerones .....            | 114 |
| Tabla 23 | Valores reales sensor 4 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 115 |
| Tabla 24 | Valores sensor 5 en prueba aerodinámica Bus sin alerones .....            | 116 |
| Tabla 25 | Valores reales sensor 5 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 116 |
| Tabla 26 | Resumen valores de sensores en el Bus sin alerones.....                   | 118 |
| Tabla 27 | Valores sensor 1 en prueba aerodinámica Bus con un alerón ....            | 119 |
| Tabla 28 | Valores reales sensor 1 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 119 |
| Tabla 29 | Valores sensor 2 en prueba aerodinámica Bus con un alerón ....            | 120 |
| Tabla 30 | Valores reales sensor 2 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 121 |
| Tabla 31 | Valores sensor 3 en prueba aerodinámica Bus con un alerón ....            | 122 |
| Tabla 32 | Valores reales sensor 3 con análisis del diagrama BoxPlot.....            | 122 |
| Tabla 33 | Valores sensor 4 en prueba aerodinámica Bus con un alerón ....            | 123 |

|          |                                                                       |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 34 | Valores reales sensor 4 con análisis del diagrama BoxPlot.....        | 124 |
| Tabla 35 | Valores sensor 5 en prueba aerodinámica Bus con un alerón....         | 125 |
| Tabla 36 | Valores reales sensor 5 con análisis del diagrama BoxPlot.....        | 125 |
| Tabla 37 | Resumen valores de sensores en el Bus con un alerón .....             | 127 |
| Tabla 38 | Valores sensor 1 en prueba aerodinámica Bus con<br>dos alerones ..... | 128 |
| Tabla 39 | Valores reales sensor 1 con análisis del diagrama BoxPlot.....        | 128 |
| Tabla 40 | Valores sensor 2 en prueba aerodinámica Bus con dos<br>alerones ..... | 129 |
| Tabla 41 | Valores reales sensor 2 con análisis del diagrama BoxPlot.....        | 130 |
| Tabla 42 | Valores sensor 3 en prueba aerodinámica Bus con dos<br>alerones ..... | 131 |
| Tabla 43 | Valores reales sensor 3 con análisis del diagrama BoxPlot.....        | 131 |
| Tabla 44 | Valores sensor 4 en prueba aerodinámica Bus con dos<br>alerones ..... | 132 |
| Tabla 45 | Valores reales sensor 4 con análisis del diagrama BoxPlot.....        | 133 |
| Tabla 46 | Valores sensor 5 en prueba aerodinámica Bus con dos<br>alerones ..... | 134 |
| Tabla 47 | Valores reales sensor 5 con análisis del diagrama BoxPlot.....        | 134 |
| Tabla 48 | Resumen valores de sensores en el Bus con dos alerones.....           | 135 |
| Tabla 49 | Valores de cargas combinadas por el método LRFD.....                  | 137 |
| Tabla 51 | Comparación de resultados .....                                       | 156 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| Ec. 1 | Rigidez.....                | 16 |
| Ec. 2 | Modulo de elasticidad ..... | 28 |
| Ec. 3 | Energía cinética .....      | 31 |

|        |                                                    |     |
|--------|----------------------------------------------------|-----|
| Ec. 4  | Densidad.....                                      | 44  |
| Ec. 5  | Viscosidad dinamica .....                          | 45  |
| Ec. 6  | Viscosidad cinematica .....                        | 46  |
| Ec. 7  | Número de Reynolds primera opción.....             | 48  |
| Ec. 8  | Número de Reynolds segunda opción .....            | 48  |
| Ec. 9  | Fuerza de sustentación.....                        | 51  |
| Ec. 10 | Fuerza de arrastre .....                           | 52  |
| Ec. 11 | Potencia para vencer la resistencia del aire ..... | 54  |
| Ec. 12 | Potencia despejada fuerza total.....               | 54  |
| Ec. 13 | Carga muerta.....                                  | 62  |
| Ec. 14 | Carga viva.....                                    | 63  |
| Ec. 15 | Carga de frenado.....                              | 65  |
| Ec. 16 | Carga de aceleración brusca .....                  | 66  |
| Ec. 17 | Carga de giro .....                                | 68  |
| Ec. 18 | Resistencia del aire frontal.....                  | 70  |
| Ec. 19 | Energía Hourglass .....                            | 154 |

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación está dirigido a la industria carrocera nacional referente a un bus de transporte interprovincial de pasajeros en el que se

describen los análisis a los cuales fueron sometidos como son: estático este análisis se lo realizó según los requerimientos determinados por la norma NTE INEN 1 323:2009 aplicando el método Load Resistance Factor Design (LRFD) para las diferentes combinaciones de carga permitiendo verificar la resistencia de la estructura y su deformación máxima, de acuerdo a los parámetros permisibles por la norma; impacto frontal de acuerdo a las condiciones de ensayo según normas internacionales (NCAP) mediante el método de elementos finitos (MEF), a fin de determinar el comportamiento de la carrocería ante una posible colisión; aerodinámica de la carrocería con la ayuda de un software de dinámica de fluido computacional (CFD) y en el túnel de viento con el propósito de validar los resultados obtenidos en el software con la realidad, para este proceso se evaluaron diferentes geometrías de carrocerías mediante la impresión de prototipos en 3D a una escala de 1:200, lo que dio como resultado una carrocería que está conformada por un deflector presentando un mayor coeficiente de sustentación, disminución de las zonas de turbulencia y coeficiente de arrastre óptimo de acuerdo a la norma.

**PALABRAS CLAVE:**

- **TRANSPORTE DE PASAJEROS - CARROCERÍAS**
- **AUTOMOVILES - CARROCERIA - ACABADOS**
- **AERODINÁMICA AUTOMOTRIZ**

**ABSTRACT**

This degree work is aimed at the bodywork industry concerning a bus of interprovincial transportation of passengers which describes the analyses which were submitted as: static this study was made is determined by the



norm NTE INEN requirements 1323:2009 by applying the method Load Resistance Factor Design (LRFD) for various combinations of load allowing to verify the resistance of the structure and its maximum deformation, according to the permissible parameters by standard; frontal impact according to the conditions of test according to international standards (NCAP) using the method of finite elements (MEF), in order to determine the behavior of the body before a possible collision; aerodynamics of the body with the help of a software (CFD) computational fluid dynamics and in the wind tunnel with the purpose of validating the results obtained in the software with the reality, For this process different body geometries were evaluated by printing 3D prototypes on a scale of 1:200, which resulted in a bodywork that is constituted by a deflector presenting a higher coefficient of lift, decrease of turbulence zones and optimum drag coefficient according to the standard.

**KEYWORDS:**

- **TRANSPORTATION OF PASSENGERS - BODIES**
- **AUTOMOBILES - BODY - FINISHES**
- **AUTOMOTIVE AERODYNAMICS**

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1. Antecedentes**

Los accidentes de tránsito que causan mortalidad han sido considerados hasta hace muy poco tiempo como una consecuencia inevitable de la existencia de los automóviles, cuya utilización se supone imprescindible para el desenvolvimiento económico y social en el mundo moderno. En consecuencia, no existe la posibilidad de atribuir responsabilidades globales sobre tales muertes, a ningún estamento económico o institucional. Sin embargo, en los últimos años se han producido avances significativos en la comprensión del problema de los accidentes de tránsito, que pueden abrir el camino a la identificación de claras responsabilidades industriales, se perfila la idea de que las "matanzas" diarias de tránsito son algo muy distinto a una acumulación de fatalidades de responsabilidad individual, que es como son presentadas por las industrias interesadas y por las administraciones competentes. (ESTEVAN, 2001)

El Servicio de Investigación de Accidentes de Tránsito (SIAT) atribuye los accidentes a la alta velocidad, maniobras de viraje no permitidas, impericia, desatención de circulación, sueño, conductores en estado etílico, entre otras causas. Este, indica que son poco comunes los casos en que los ocupantes de los vehículos involucrados en accidentes resultan ilesos. En la mayoría, si no fallecen, resultan con graves lesiones y mutilaciones que generan algún tipo de discapacidad, el SIAT afirma que las secuelas no sólo afectan a las víctimas sino a su entorno. Las familias tienen que atender a personas que quedan cuadraplégicas, mutiladas o que pierden sus trabajos. (MINISTERIO DEL INTERIOR, 2013)

**Tabla 1**  
**Siniestros por causas probables en buses a nivel nacional abril- 2016**

| CODIGO | CAUSAS PROBABLES                                                                                                                        | ENE | FEB | MAR | ABR | TOTAL<br>, A<br>ABRIL<br>-2016 | %     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------------------|-------|
| C09    | CONducIR VEHÍCULO SUPERANDO LOS LÍMITES MÁXIMOS DE VELOCIDAD                                                                            | 408 | 314 | 262 | 180 | 1.164                          | 11,96 |
| C23    | NO RESPETAR LAS SEÑALES REGLAMENTARIAS DE TRANSITO (PARE, CEDA EL PASO, LUZ ROJA DEL SEMÁFORO, ETC.)                                    | 366 | 300 | 296 | 134 | 1.096                          | 11,26 |
| C03    | CONducIR EN ESTADO DE SOMNOLENCIA O MALAS CONDICIONES FÍSICAS (SUEÑO, CANSANCIO Y FATIGA)                                               | 78  | 51  | 69  | 8   | 206                            | 2,12  |
| C22    | ADELANTAR O REBASAR A OTRO VEHÍCULO EN MOVIMIENTO EN ZONAS O SITIOS PELIGROSOS TALES COMO: (CURVAS, PUENTES, TÚNELES, PENDIENTES, ETC.) | 78  | 61  | 55  | 3   | 197                            | 2,02  |
| C10    | CONDICIONES AMBIENTALES Y/O ATMOSFÉRICAS (NIEBLA, NEBLINA, GRANIZO, LLUVIA)                                                             | 31  | 17  | 21  | 21  | 90                             | 0,92  |
| C05    | FALLA MECÁNICA EN LOS SISTEMAS Y/O NEUMÁTICOS (SISTEMA DE FRENOS, DIRECCIÓN, ELECTRÓNICO O MECÁNICO)                                    | 28  | 12  | 16  | 12  | 68                             | 0,70  |

**Fuente:** (Agencia Nacional de Tránsito, 2016)

Las muertes y las discapacidades, muchas de las veces, son ocasionadas porque un significativo porcentaje de buses urbanos e interprovinciales que incumplen las normas de seguridad establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para la circulación de estos vehículos. Aunque estas datan de 1985, están recogidas en la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente, que fue aprobada en 1996.

Un estudio realizado por la organización Justicia Vial, en las paradas de los buses y en el terminal terrestre de Quito, determinó que seis de cada 10 vehículos incumplían con la normativa del INEN para construcción de carrocerías. Así mismo, siete de cada 10 buses no tenían los vidrios de seguridad. La muestra fue de 200 unidades en el terminal terrestre y 300 en las paradas de las 135 rutas urbanas de la capital. (ECUADOR INMEDIATO, 2006)

## **1.2. Planteamiento del problema**

La investigación se origina debido al incremento considerable de accidentes de tránsito de buses interprovinciales en las carreteras ecuatorianas, en el cual se observa que las estructuras de las carrocerías de los buses terminan con una excesiva deformación plástica

Tal es el caso de la empresa Carrocera Olímpica, la que pretende cumplir con las exigencias que se presenta en la normativa ecuatoriana, para ello se ha comprometido en brindar datos reales y verídicos así como facilidades de acceso a las instalaciones de diseño y construcción, para colaborar con este proyecto de investigación, de tal manera se podrá determinar las causas y efectos principales que derivan en problemas de ingeniería, referentes a la estructura y carrocería del bus interprovincial Olímpica GR.

Se pretende analizar el comportamiento estructural de la carrocería, así como, el comportamiento aerodinámico, de manera tal que se logre emitir criterios de ingeniería tendientes a buscar mejoras en el proceso de diseño y construcción de las estructuras de buses modelo GR.

El valor que entregará este proyecto está dirigido a la industria nacional por intermedio de Carrocerías Olímpica, a quienes se entregarán los parámetros de ingeniería encontrados, así como las propuestas para rediseño de la estructura y carrocería respectivamente, que, de ser tomados en cuenta, permitirán que la empresa cumpla con normativas nacionales logrando a su vez un mayor rendimiento en el bus interprovincial GR.

### **1.3. Descripción resumida del proyecto**

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad realizar un análisis estructural estático y dinámico de la carrocería interprovincial de la empresa Carrocerías Olímpica Quito para determinar su deformación máxima y resistencia causadas en los distintos componentes ante las condiciones de carga que son sometidas en su operación. Posterior a esto, determinar la eficiencia aerodinámica de dicha carrocería y posteriormente mediante la modificación de la configuración geométrica de la carrocería original presentar una propuesta con una mayor eficiencia aerodinámica.

Se recopilará la información que permita la obtención de datos, conceptos y definiciones para dar a conocer los aspectos teóricos y prácticos de experiencias realizadas, obteniendo así una base teórica para fundamentar el estudio.

Se dibujará en 3D la configuración geométrica original de la carrocería interprovincial de la empresa Carrocerías Olímpica Quito mediante la utilización de un software CAD.

Se procederá con el análisis estructural de la carrocería por el método de elementos finitos para determinar la resistencia producida en cada uno de los distintos componentes sometiéndolas a condiciones de carga en su operación cumpliendo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1323:2009 (Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos) Ver Anexo A.

Se realizará el análisis aerodinámico de la carrocería mediante la utilización del software CFD (Dinámica de fluidos computacional) para determinar los coeficientes de sustentación y arrastre respectivamente, la resistencia aerodinámica y los lugares donde se genera turbulencia.

Se verificará el estudio computacional mediante la aplicación de análisis matemático basado en la mecánica de fluido.

Posteriormente partiendo del modelado geométrico de la carrocería original y con los resultados obtenidos del análisis aerodinámico, se procederá a realizar las modificaciones necesarias en las superficies con mayor resistencia al aire con la finalidad de optimizar la eficiencia aerodinámica.

Se efectuará el análisis aerodinámico de la carrocería modificada mediante la utilización del software CFD (Dinámica de fluidos computacional) para verificar si con la nueva configuración geométrica de la carrocería se obtuvo una mejora en la eficiencia aerodinámica.

Luego de haber obtenido los resultados favorables del análisis aerodinámico para nueva configuración geométrica de la carrocería se procederá a construir un prototipo a escala de la carrocería original y de la carrocería mejorada, para realizar las pruebas respectivas en el túnel de viento y corroborar que los resultados obtenidos en el software se asemejan a la realidad.

#### **1.4. Justificación e importancia**

La empresa “Carrocerías Olímpica Quito” en su afán de buscar permanente la mejora continua de sus productos cumpliendo siempre la normativa legal y técnica vigente, desea mejorar la apariencia del modelo de carrocería interprovincial, en vista que los clientes cada vez son más exigentes y buscan nuevos modelos de carrocerías con líneas novedosas y modernas con el compromiso de la seguridad ante todas las cosas y mantenerse actualizadas a la par de los modelos de carrocerías extranjeros.

Adicionalmente la empresa se encuentra en la necesidad de buscar que la construcción y ensamblaje de sus varias unidades de transporte, se encuentren cumpliendo todas las exigencias que exige la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323:2009, y el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE vigentes.

En el diseño y construcción de carrocerías tiene especial importancia el coeficiente aerodinámico, que permitirá un menor esfuerzo del motor y mejorará la estabilidad. Por tanto, a menor coeficiente, menor resistencia al avance y menor esfuerzo demandado al motor, mayor estabilidad y mayor ahorro de combustible. Entre los factores que modifican el coeficiente aerodinámico en las carrocerías de buses tenemos la forma exterior de la estructura tanto en la parte delantera como en la superior e inferior, la pendiente del parabrisas, el tamaño y forma de los retrovisores exteriores y la existencia de alerones o deflectores.

## **1.5. Objetivos del proyecto**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar el comportamiento estructural de la carrocería para buses interprovinciales de la empresa Carrocerías Olímpica Quito mediante la utilización de software de ingeniería, para conocer la resistencia y deformación máxima causada en cada uno de sus componentes mediante las condiciones de carga que es sometida en su operación, así como también modificar la configuración geométrica de la estructura y lograr una mayor eficiencia aerodinámica.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Levantar información de carácter teórico científico que fundamente la presente investigación.

- Dibujar la geometría de la carrocería original mediante la utilización del software CAD siguiendo los lineamientos basados en el RTE-043 planos.
- Realizar el análisis estructural de la unidad en estudio utilizando un software CAE cuya herramienta nos permite realizar varias simulaciones de esfuerzos y cargas guiándonos en los requisitos de la norma INEN 1323-2009.
- Simular un impacto frontal de la carrocería según normativas internacionales, con la finalidad de establecer el comportamiento de la carrocería ante un evento de esta naturaleza.
- Analizar el comportamiento aerodinámico de la carrocería original mediante la utilización del software especializado CFD (Dinámica de fluidos computacional) para determinar los factores que intervienen en la carrocería como son el coeficiente de resistencia al aire, la fuerza de sustentación, la fuerza de arrastre y potencia necesaria del motor.
- Construir un prototipo a escala de la carrocería original mediante la utilización de la técnica de impresión en 3D para realizar pruebas aerodinámicas en el túnel de viento que permitan comprobar los resultados obtenidos en el software CFD
- Realizar las modificaciones requeridas en la geometría de la carrocería original para disminuir las zonas de mayor índice de arrastre aerodinámico.
- Proponer dos modificaciones a la carrocería original para analizarla mediante software CFD y túnel de viento para evaluar sus comportamientos de resistencia y características aerodinámicas.

#### **1.6. Metas**

- Obtención de la información teórica y adquisición de los planos de la carrocería para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Análisis de forma estática y dinámica las cargas a las que se encuentra



sometida la carrocería mediante la utilización de un software CAE.

- Estudio aerodinámico de la carrocería original mediante la utilización del software CFD.
- Diseño de un prototipo con dos variantes de estructuras partiendo de la geometría original hasta lograr una carrocería con mayor eficiencia aerodinámica.
- Ejecución del análisis aerodinámico de la carrocería con la mejor configuración geométrica que se haya diseñado.
- Construcción del túnel de viento que se encuentra en el laboratorio de Autotrónica para realizar las pruebas aerodinámicas.
- Construir los prototipos a escala mediante la técnica de impresión en 3D de la carrocería original y la carrocería mejorada.
- Posteriormente realizar las pruebas aerodinámicas en el túnel de viento y verificar que se obtuvo una mayor eficiencia aerodinámica en la carrocería modificada.

## **1.7. Hipótesis**

Mediante una configuración geométrica mejorada de la carrocería se logrará obtener una mayor eficiencia aerodinámica, lo que conlleva a tener un mayor aprovechamiento de la potencia del motor y una reducción en el consumo de combustible.

## **1.8. Variables de investigación**

### **1.8.1. Variable Independiente:**

Cargas estáticas y aerodinámicas aplicadas a la estructura y carrocería del bus GR de Carrocerías Olímpica.

### **1.8.2. Variable Dependiente:**

Geometría de la carrocería GR, de Industrias Olímpica.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Carrocerías

La carrocería del automóvil es la parte estructural en la que se encuentran los pasajeros o la carga, la cual debe soportar las fuerzas estáticas y dinámicas al estar en movimiento, poseer la resistencia y rigidez necesaria para que al momento de suscitarse un impacto o choque brinde la máxima seguridad a los ocupantes del vehículo. En la Figura 1 se muestra la carrocería de un bus interprovincial. (Esmeraldas, 2016)



**Figura 1 Carrocería de un bus**

**Fuente:** (SALDIVIA, 2013)

#### 2.2. Clasificación de vehículos de transporte

El transporte puede clasificarse según al número de ocupantes al que va estar destinado el vehículo, la distancia que se van a transportar las personas, o a al tipo de servicio, público o privado.

##### 2.2.1. Microbús.

“Vehículo orientado al transporte de pasajeros, con un espacio interno para la circulación de pasajeros, el número de plazas puede ser hasta 26”. (NTE INEN 2656, 2012)

Como se observa en la figura 2, cuyo tamaño permite transportar varios pasajeros dentro o fuera de la ciudad.



**Figura 2 Microbús**

**Fuente:** (TOYOTA, 2017)

### **2.2.2. Ómnibus.**

“Vehículo de transporte colectivo para trasladar personas, generalmente dentro de las poblaciones”. (Chavez, 2016)

Transporte utilizado en las empresas o instituciones educativas superiores, como se puede apreciar en la figura 3.



**Figura 3 Ómnibus**

**Fuente:** (CDE, 2015)

### 2.2.2.1. Ómnibus convencional.

“Vehículo con la carrocería unida directamente sobre el bastidor del chasis, bastidor que no sufre ninguna alteración ni modificación estructural, ni modificación dimensional en la distancia entre ejes durante el proceso de carrozado”. (Chavez, 2016)



**Figura 4 Ómnibus convencional**

**Fuente:** (Transporte carretero, 2014)

### 2.2.2.2. Ómnibus articulado.

“Vehículo compuesto de dos secciones rígidas unidas entre sí por una junta articulada permitiendo libre paso entre una sección y otra”. (NTE INEN 2656, 2012)

Como se puede observar en la figura 5 son los articulados como el metro bus, el trole bus y el eco vía de la ciudad de Quito.



**Figura 5 Ómnibus articulado**

**Fuente:** (Transporte carretero, 2014)

### **2.2.2.3. Ómnibus bi-articulado.**

“Vehículo compuesto de tres secciones rígidas unidas entre sí por dos juntas articuladas permitiendo libre paso entre las secciones”. (Chavez, 2016)

Un claro ejemplo de estos bi-articulados son los nuevos vehículos del trole bus en la ciudad de Quito, con una capacidad de 250 personas a diferencia de los articulados que tienen una capacidad de 160 personas.



**Figura 6 Ómnibus bi-articulado**

**Fuente:** (Teleamazonas, 2016)

### 2.2.3. Transporte urbano.

Se refiere al transporte colectivo de pasajeros que se movilizan durante distancias cortas dentro de la ciudad.



**Figura 7 Bus urbano**

**Fuente:** (Carrocerias Olimpica Quito, 2017)

### 2.2.4. Transporte interprovincial.

Destinado al traslado de pasajeros para viajes a largas distancias entre provincias, este tipo de transporte no puede llevar personas de pie. (NTE INEN 2656, 2012)



**Figura 8 Bus interprovincial**

**Fuente:** (Carrocerias Olimpica Quito, 2017)

### 2.2.5. Transporte de turismo.

Unidades equipadas con las mejores prestaciones en comodidad y entretenimiento, encargadas de brindar un servicio dentro y fuera de las provincias de acuerdo a las necesidades de los pasajeros.



**Figura 9 Transporte de turismo**

**Fuente:** (aquiecuadortravel, 2017)

### 2.2.6. Transporte institucional

“Conocido también como de transporte escolar, unidades de hasta 30 pasajeros destinada al transporte de personal de empresas o escolares”. (Chavez, 2016)

Como se puede observar en la figura 10, este tipo de vehículos son comúnmente utilizados para transporte de estudiantes de colegios y escuelas.



**Figura 10 Transporte institucional**

**Fuente:** (Carrocerias Olimpica Quito, 2017)

### 2.3. Chasis o bastidor

“El bastidor del chasis es la estructura inferior del vehículo, al cual están acoplados la carrocería y los sistemas de potencia que dan movimiento a la unidad, así como demás componentes que requieren apoyo físico”. (Cepeda Miranda, 2006)

“La misión fundamental del bastidor del chasis es la de ser el soporte físico de la carrocería y demás componentes que se monten en la unidad, conectar rígidamente la suspensión delantera y la trasera y al mismo tiempo ofrecer puntos de amarre para los diferentes sistemas del vehículo, así como proteger al conductor frente a una colisión. Por lo tanto, es el más esencial miembro sólido de una unidad de transporte”. (Cepeda Miranda, 2006)



**Figura 11 Chasis o bastidor**

**Fuente:** (Buses Ecuador, 2010)

#### 2.3.1. Diseño de bastidor.

“En la estructura del chasis lo determinante es la no deformación, es decir la rigidez. Dicha estructura del chasis debe ser lo suficientemente fuerte y rígida para soportar las cargas de la carrocería construida sobre la misma y por lo tanto asegurar un periodo de servicio de millones de kilómetros”. (Cepeda Miranda, 2006)



“Del mismo modo, la rigidez es responsable de la buena adherencia de la unidad, lo que repercute en la facilidad de manejo. Esto significa que la estructura del chasis debe ser lo suficientemente rígida para resistir flexión y torsión. Dado que la mayoría de las cargas que actúan sobre el vehículo lo hacen en las suspensiones frontal y posterior, la rigidez del chasis entre estos dos puntos es de vital importancia. La expresión global de la rigidez es: (Cepeda Miranda, 2006)

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

P: es la carga aplicada

$\Delta$ : es el desplazamiento

La rigidez cumple con las siguientes proporcionalidades:

$$K \propto E \cdot I$$

$$K \propto E \cdot A$$

Siendo:

E, el módulo de elasticidad o módulo de Young

I, el momento de inercia

A, el área de la sección

De lo mencionado anteriormente se puede concluir que la rigidez es directamente proporcional al módulo de elasticidad, momento de inercia o área de sección.

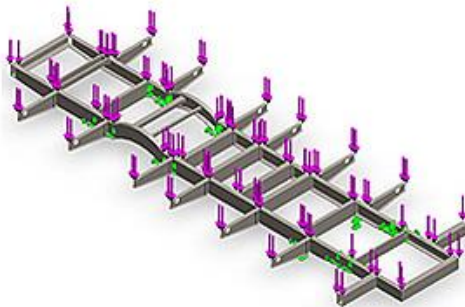
## 2.3.2. Características fundamentales del chasis.

### 2.3.2.1. Resistencia mecánica:

“Es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse. La resistencia mecánica de un cuerpo depende de su material y de su geometría. El parámetro empleado habitualmente para valorar la resistencia mecánica de un cuerpo es el coeficiente de seguridad”. (Andrade & Méndez, 2012)

### 2.3.2.2. Rigidez a la flexión:

“Se refiere a cuánto fleja el chasis cuando es cargado por el peso de los diferentes elementos que componen el vehículo, como son el motor, la transmisión, los pasajeros. Soportado en los extremos y con la carga aplicada en el cuerpo, como una viga simplemente apoyada. La experiencia indica que las cargas en este sentido no causan deflexiones considerables, por lo tanto, no es común tener problemas de deflexión en vehículos”. (Andrade & Méndez, 2012)



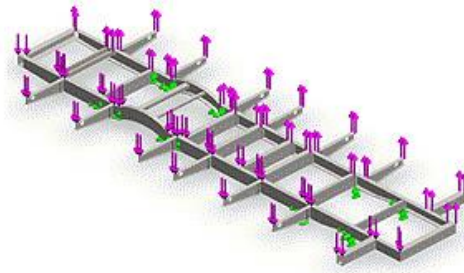
**Figura 12 Chasis sometido a cargas de flexión**

**Fuente:** (Chagoyén, 2012)

### 2.3.2.3. Rigidez a la torsión

“Se refiere a cuanto se deforma el chasis debido a una carga asimétrica, por ejemplo, cuando una de las ruedas pasa por un bache y las demás no, una de las ruedas está a desnivel mientras el resto del vehículo está a nivel. Esta condición está también presente en cada curva, por lo cual es importante para la adherencia”. (Andrade & Méndez, 2012)

“El par torsor al que esté sometido el chasis proviene del conjunto de fuerzas de los amortiguadores”. (Andrade & Méndez, 2012)



**Figura 13 Carga asimétrica causante del par torsor al chasis**

**Fuente:** (Chagoyén, 2012)

### 2.3.3. Tipos de bastidores

“El bastidor está normalmente formado por dos largueros de chapa o perfil laminado, unidos entre sí por travesaños remachados o soldados, que forman el esqueleto resistente del vehículo. Estos largueros están constituidos por perfiles en forma de U, o bien en forma de caja cerrada, que provienen de chapa que ha sido embutida y luego soldada. Los travesaños están constituidos de la misma forma y material que los largueros y unidos por remaches o soldadura”. (Leon, 2013)



**Figura 14 Bastidor**

**Fuente:** (Cepeda Miranda, 2006)

El tipo de bastidor es variable en función del vehículo, del uso del mismo y de los esfuerzos que éste debe soportar, los siguientes bastidores son los más comunes en los vehículos industriales.

- **Bastidores reforzados:** este tipo de bastidores es el utilizado para camiones que transportan grandes pesos y que disponen de carrozado.
- **Bastidores con perfil en U:** son cuyos largueros se forman a partir de perfiles en U, se encuentran principalmente en tractocamiones, camiones rígidos, autobuses y remolques, y es por eso que son los más utilizados en el conjunto de los vehículos industriales.
- **Bastidor con perfil de doble T:** construidos a partir de perfiles de doble T se encuentran únicamente en semirremolques y algunos modelos de remolques.
- **Bastidor compuesto:** son cuyos largueros presentan a lo largo de su longitud secciones con diferentes perfiles estructurales.

#### **2.3.4. Materiales del bastidor**

“Debido a las elevadas solicitaciones de este componente, el material es de alta resistencia, sus esfuerzos máximos tanto a la ruptura ( $S_u$ ) como a la fluencia ( $S_y$ ) son elevados y sus componentes de aleación, aunque celosamente guardados por los fabricantes, contienen elementos que

favorecen y aumentan dicha resistencia, como por ejemplo el manganeso (Mn), que aumenta la resistencia de los aceros al carbono”. (Cepeda Miranda, 2006)

“Para el bastidor del chasis es usual encontrar materiales con las resistencias detalladas a continuación, que son comúnmente utilizados por los fabricantes”. (Cepeda Miranda, 2006)

Existen diferentes materiales de construcción de perfiles para bastidores utilizados dependiendo el fabricante como veremos a continuación.

**Tabla 2**  
**Características Acero SAPH440**

| <b>Acero SAPH440</b>                |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Punto de fluencia</b>            | 2000 Kg/cm <sup>2</sup>        |
| <b>Resistencia mínima a Tensión</b> | 3800 – 4200 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Resistencia a la Tensión</b>     | 4000 – 5500 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Módulo de elasticidad</b>        | 2500000 Kg/cm <sup>2</sup>     |

**Fuente:** manual de Constructores de Carrocerías GM

**Tabla 3**  
**Características Acero de alta resistencia FeE420**

| <b>Acero de alta resistencia FeE420 características</b> |                                                 |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Resistencia a la rotura</b>                          | 530 N/mm <sup>2</sup> (530 Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| <b>Límite de Elasticidad</b>                            | 420 N/mm <sup>2</sup> (420 Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| <b>Alargamiento</b>                                     | ≥ 21%                                           |

**Fuente:** IVECO gama euro

**Tabla 4**  
**Características Bastidor HINO**

| <b>Bastidor HINO</b>                    |                                                 |                                                 |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Tipo de metal</b>                    | <b>Resistencia a la Tensión</b>                 | <b>Resistencia a la Elasticidad</b>             |
| <b>Placa de acero laminada al calor</b> | 440 N/mm <sup>2</sup> (45 kgf/mm <sup>2</sup> ) | 304 N/mm <sup>2</sup> (31 kgf/mm <sup>2</sup> ) |
| <b>Placa de acero laminada al calor</b> | 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 observar en las especificaciones anteriores los valores del límite elástico se encuentran comprendidos entre 230 y 540 MPa

El límite elástico se considera para el diseño debido a que, si se supera dicho valor, el material sufrirá una deformación permanente lo cual afecta notablemente a la estructura.

## **2.4. Tipos de carrocerías**

### **Clasificación de las Carrocerías**

“Todo automóvil moderno se encuentra constituido por dos partes claramente diferenciadas: mecánica y carrocería. La mecánica está formada por diversos elementos como son el motor, la transmisión, la dirección, etc. La carrocería es el armazón del vehículo. Está formada, generalmente, por planchas metálicas unidas entre sí, que constituyen el apoyo de los elementos mecánicos. Se pueden establecer distintas clasificaciones, las más representativas son: en función de la distribución del espacio exterior, de su forma y del tipo de carrocería”. (Lara, 2012)

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

#### **2.4.1. Carrocería con chasis plataforma.**

“Una solución intermedia entre la carrocería autoportante y la instalada sobre un chasis es un proyecto consistente en lo que se llamó carrocería con plataforma de chasis. En este diseño se construye como un chasis de plancha al que se le sujeta el resto de la carrocería. Este proyecto tuvo un aceptable éxito al ser aplicado a algunos modelos construidos para dar un

servicio intermedio y poder ser utilizados en carretera y también en malos caminos”. (Automóviles, 2011)



**Figura 15 Carrocería con chasis plataforma**

**Fuente:** (Automóviles, 2011)

#### **2.4.2. Carrocería con chasis independiente.**

En este tipo de vehículos la carrocería se encuentra separada del chasis, uniéndolos posteriormente por medio de pernos y soldadura.

Emplean este tipo de carrocería los siguientes vehículos:

- a) Vehículo todo terreno.
- b) Vehículos industriales medianos (furgonetas).
- c) Vehículos industriales pesados (camiones).
- d) Autocares y autobuses.
- e) Vehículos especiales: grúas, etc.



**Figura 16 Carrocería con chasis independiente**

**Fuente:** (Automóviles, 2011)

### **2.4.3. Carrocería autoportante o compacta.**

“Esta carrocería es la que portan la mayoría de los vehículos actuales, debido a su bajo peso y a su flexibilidad. Además, ese tipo de estructuras permite construir vehículos con un centro de gravedad más bajo con respecto a los vehículos que presentan chasis independiente, que en su mayoría son automóviles altos como por ejemplo todoterrenos”. (Álvaro, 2012)

“La carrocería autoportante forma un monocasco, es decir, la carrocería se encuentra unida al bastidor formando una única pieza, a partir de la cual se insertan los componentes mecánicos. A diferencia de la carrocería de chasis independiente, donde el bastidor y la carrocería son piezas que se pueden separar”. (Álvaro, 2012)



**Figura 17 Carrocería autoportante o compacta**

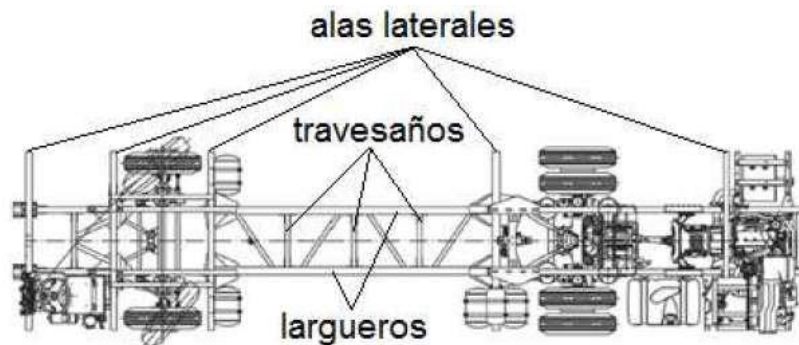
**Fuente:** (Álvaro, 2012)



## 2.5. Componentes de una carrocería.

### 2.5.1. Estructura del panel del piso

“El bastidor está compuesto por largueros y a los laterales, en una estructura de panel de piso bajo los perfiles son colocados por encima de los largueros del bastidor y los travesaños se fijan paralelos a las alas laterales. Los extremos de los travesaños y las alas convergen con el extremo inferior de las columnas de los paneles laterales. Mientras las alas laterales cumplen la función de mejorar la fijación de los paneles laterales con el bastidor”. (Lopez, 2016)

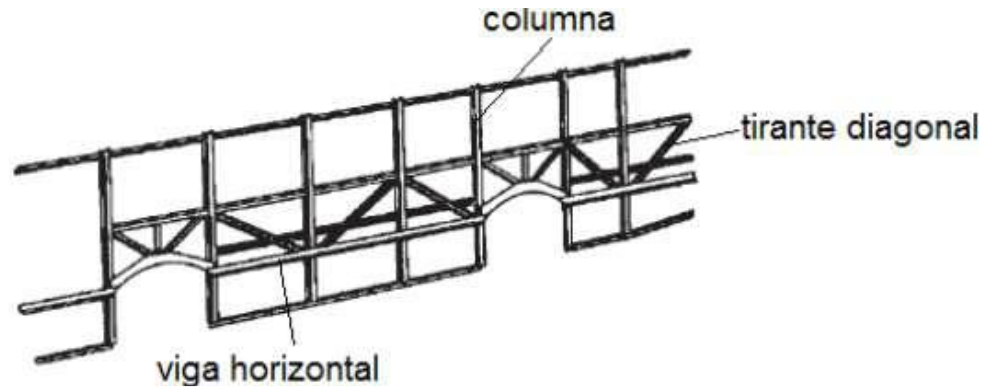


**Figura 18 Elementos estructurales del bastidor**

**Fuente:** (Lopez, 2016)

### 2.5.2. Estructura de los paneles laterales

“Debido a que los paneles laterales están soportando esfuerzos longitudinales durante la aceleración y el frenado y a esfuerzos transversales en el momento que el vehículo toma una curva, éstos paneles deben ser construidos con un entrelazado de tirantes diagonales en los espacios que deja el piso y las ventanas. Estos tirantes deben fijarse a las columnas y a las vigas horizontales como se ve en la figura siguiente”. (Lopez, 2016)



**Figura 19 Estructura de los paneles laterales**

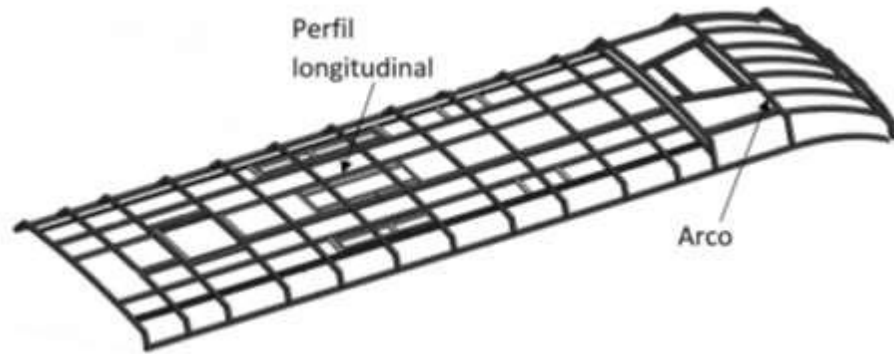
**Fuente:** (Lopez, 2016)

### **2.5.3. Estructura de los paneles frontal y posterior**

“La estructura del panel frontal y la del panel posterior permiten aumentar la rigidez transversal de la superestructura y se deben construir con un entrelazado de tirantes diagonales. Se debe tomar en cuenta en el proceso de diseño un espacio para la remoción e instalación el motor”. (Lopez, 2016)

### **2.5.4. Estructura del panel del techo**

“El panel del techo está sometido a esfuerzos longitudinales, transversales y de torsión. Se construye mediante arcos dispuestos en posición transversal y perfiles dispuestos en posición longitudinal. Los arcos deben estar ubicado de tal manera que sus extremos se unan con los extremos superiores de las columnas de los paneles laterales, En caso de solicitar mayor rigidez se pueden agregar tirantes diagonales”. (Lopez, 2016)



**Figura 20 Estructura del panel del techo**

**Fuente:** (Lopez, 2016)

## **2.6. Aceros estructurales**

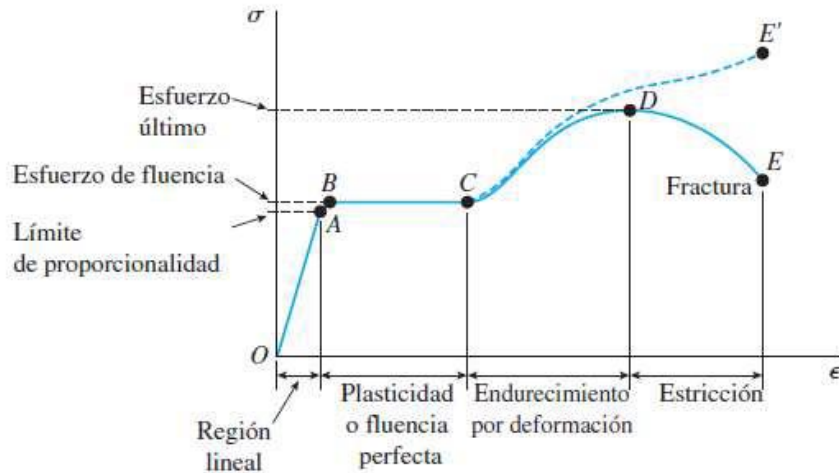
Los aceros estructurales se producen en forma de lámina, placa, barras, tubería y perfiles estructurales. La ASTM asigna una designación de número a estos aceros, la cuál es el número del estándar que define las propiedades mínimas requeridas. (MOTT, 2009)

Uno de los aceros más populares en aplicaciones estructurales es el ASTM A36, un acero al carbón utilizado para muchos perfiles, placas y barras comercialmente disponibles. Los aceros estructurales son utilizados también para carrocerías de autobuses, en el caso del acero ASTM A36 y A500 tienen un límite de fluencia de 235 MPa y 320 MPa respectivamente.

### **2.6.1. Propiedades de los aceros estructurales**

Las propiedades mecánicas del acero estructural, dependen principalmente, de la composición química de los mismos, los procesos de laminado y el tratamiento térmico a los que estén sometidos. Si se considera que las propiedades mecánicas se obtienen de ensayos en laboratorio, debemos considerar factores que afectan a esas propiedades tales como la

rapidez de carga de la muestra, las condiciones y la geometría de las mismas, el trabajo en frío, y la temperatura existente al llevarse a cabo el ensayo (MOTT, 2009)



**Figura 21 Curva esfuerzo - deformación**

**Fuente:** (Hibbeler, 2011)

### 2.6.1.1 Elasticidad

Es la propiedad que tienen los cuerpos de recuperar tamaño y forma después de la deformación. Si el material se somete a la acción de una carga, sufrirá deformación. Si al eliminar la carga, el material vuelve a su forma y tamaño original, se habrá producido en él una deformación elástica (Shigley, 2004)

### 2.6.1.2 Límite de elasticidad

Es el esfuerzo máximo uniaxial que se puede aplicar a un material sin causarle ninguna deformación permanente. El intervalo elástico es aquel donde los esfuerzos son menores que el límite elástico (MOTT, 2009)

### 2.6.1.3 Plasticidad

Es una propiedad contraria a la elasticidad, ya que permite a los cuerpos conservar la deformación después de suprimir la carga (MOTT, 2009)

### 2.6.1.4 Límite de Fluencia

Es el esfuerzo a partir del cual el material presenta un gran incremento en sus deformaciones, sin existir incrementos correspondientes en el esfuerzo. La forma de definir el límite de fluencia, es diferente según la clase de acero. Existen aceros en los cuáles sólo hay un límite de fluencia, y en los aceros forjados en frío, no existe un límite de fluencia convencional, sino que se fija donde la curva esfuerzo-deformación cambia de pendiente en forma considerable (MOTT, 2009)

### 2.6.1.5 Módulo de elasticidad

Es la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación en la región elástica inicial de la curva esfuerzo-deformación. Este valor se determina por medio de la pendiente de dicha porción elástica del diagrama. Por consiguiente, el módulo de elasticidad puede calcularse mediante la siguiente expresión. (MOTT, 2009)

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación unitaria}} \quad \text{Ec. 2}$$

### 2.6.1.6 Resistencia al impacto

La resistencia al impacto es una medida para determinar la capacidad que tiene un acero de absorber una cantidad de energía, al hacerle aplicaciones de cargas rápidas. Una medida confiable de la resistencia al

impacto se puede obtener a través de la tenacidad que es la habilidad del acero para soportar cargas que produzcan fractura. Un material tenaz es definido en función de la resistencia a la propagación inestable de una fractura en presencia de una muesca (MOTT, 2009)

## **2.7. Normas y reglamentos nacionales aplicados en el diseño y construcción de carrocerías de buses interprovinciales**

### **2.7.1. Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 043:2010)**

Este reglamento establece los requisitos que deben cumplir los buses interprovinciales e intraprovinciales de transporte masivo de pasajeros con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, dicho reglamento aplica a los buses que van a ingresar al parque automotor ecuatoriano, sean importados, ensamblados o fabricados en el país.

Los aspectos fundamentales de los buses interprovinciales son: motor, chasis, carrocería, organización externa, organización interna, detalles exteriores e interiores y elementos de seguridad y control. (RTE INEN 043, 2010)

### **2.7.2. Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009)**

Esta norma establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías de buses para todas sus modalidades, de igual manera esta norma se aplica tanto para buses importados o de construcción nacional. (NTE INEN 1323, 2009)

Adicionalmente encontramos las definiciones de las diferentes cargas que se aplican en la carrocería, los métodos de combinaciones de cargas y otras disposiciones en cuanto a materiales y elementos de seguridad. Ver Anexo A

## **2.8. El Fenómeno de una colisión**

De acuerdo a Illescas, (2009), cuando se produce la colisión de un vehículo contra otro o un obstáculo, el vehículo sufre una reducción radical de la velocidad haciendo lo mismo con la energía cinética. Y según el principio de conservación de la energía, esa energía cinética perdida en la colisión debe transformarse en otro tipo de energía, ya sea por rotación del vehículo, fricción o principalmente en deformación.

No obstante, cuando se habla de deformación del vehículo, existe una parte que debe mantenerse intacta, y ésta es el habitáculo, el cual, comportándose como una zona de supervivencia al momento de una colisión donde los ocupantes puedan moverse con libertad tras el impacto y no resulten afectados por las deformaciones de la estructura. (Castillo, 2009)

Según Gómez et al.,(2009) dice que debido a las exigencias de seguridad en los ocupantes del vehículo, ante la eventualidad de un impacto, aparece la necesidad de absorción de la energía de la colisión, minimizando los posibles daños que puedan sufrir los ocupantes. Para ello, en la carrocería se constituyen dos zonas de máxima exigencia en cuanto a la absorción de energía en una colisión. Estas zonas son los paragolpes delantero y trasero que se encargan de amortiguar el golpe al deformarse como un acordeón.

La gravedad de un accidente no está determinada por la velocidad del vehículo antes de la colisión, sino debido al cambio de velocidad que el vehículo sufre y por la rapidez con la varía la velocidad, es decir, la deceleración. La deceleración viene determinada por la masa y la rigidez de los objetos que colisionan entre sí.

Antes de la colisión, el vehículo tiene una energía cinética dada por su masa (m) y su velocidad (v):

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Ec. 3}$$

El pasajero del vehículo se encuentra en riesgo si toda la energía cinética no es absorbida por el frontal del mismo, o bien si el habitáculo es demasiado rígido haciendo que las fuerzas de la colisión provoquen deceleraciones tan grandes en los ocupantes que pueden ocasionar lesiones de gravedad. (Instituto de investigación sobre reparación de vehículos, 2003)

## **2.9. Impacto frontal**

Un accidente frontal es el tipo más común de accidente que resulta en muertes y de acuerdo a las estadísticas dos terceras partes de las colisiones son frontales, y la mitad de ellas presentan una cobertura de entre el 30 y el 50% de la superficie frontal.

Existen dos tipos de colisiones frontales: colisión totalmente frontal y colisión descentrada

### **2.9.1. Colisión totalmente frontal**

Cuando el choque es completamente frontal, la estructura tiene una menor deformación, debido a que la fuerza de la colisión se distribuye en toda la superficie del frontal y, por ende, todos los elementos de la estructura resisten de igual forma. De esta forma la estructura soporta mejor el impacto, obteniendo menores deformaciones con lo que el habitáculo de seguridad tiene un menor riesgo de afectación. (Illescas Pérez, 2009)





**Figura 22 Colisión totalmente frontal**

**Fuente:** (EuroNCAP, 2017)

### **2.9.2. Colisión descentrada**

Cuando el choque es descentrado, la estructura del vehículo se ve sometida a un mayor esfuerzo, provocando una mayor deformación en los elementos estructurales ya que la fuerza de la colisión se concentra en una superficie más pequeña.

Para que toda la energía sea absorbida por una parte del frontal, se emplean elementos cuya función es la de transmitir parte de las fuerzas al lado opuesto de la colisión, para que los esfuerzos puedan ser repartidos entre ambos lados. No obstante, aunque se puedan repartir los esfuerzos, la mayor parte de la energía es absorbida por la zona donde se ha producido el choque. Por esto, en las colisiones descentradas la estructura se ve más afectada, aumentando la probabilidad de dañar el habitáculo de seguridad. (Illescas Pérez, 2009)



**Figura 23 Colisión descentrada**

**Fuente:** (EuroNCAP, 2017)

## **2.10. Normativas internacionales aplicadas en ensayos de impacto**

La realización de los ensayos de choque o crash-test se lo realiza por distintas entidades gubernamentales o privadas, cada una tiene sus protocolos de prueba de acuerdo a los distintos fines y, por este motivo, las pruebas suelen ser diferentes, aunque todos los ensayos buscan poner a prueba la seguridad pasiva del vehículo

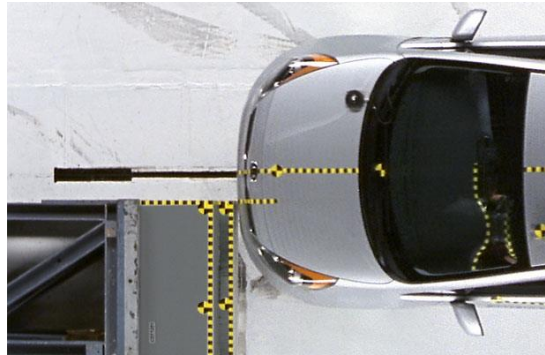
A continuación, se describen los organismos con mayor relevancia en la actualidad que determinan los requerimientos para la realización de ensayos de impacto frontal.

### **2.10.1. Insurance Institute for Highway Safety (IIHS)**

El Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras (IIHS) es una organización científica y educativa independiente, sin fines de lucro dedicada a reducir las muertes, lesiones y daños a la propiedad causadas por accidentes de vehículos. (Insurance Institute for Highway Safety, 2017)

### 2.10.1.1. Criterios para las pruebas de impacto frontal

De acuerdo al Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras (IIHS), (2017) en la prueba frontal de superposición moderada, un vehículo viaja a 40 mph hacia una barrera con una cara deformable hecha de panel de aluminio. La cara de la barrera es apenas sobre 2 pies de alto. Un maniquí híbrido III que representa un hombre de tamaño medio está situado en el asiento del conductor. Cuarenta por ciento de la anchura total del vehículo golpea la barrera en el lado del conductor.

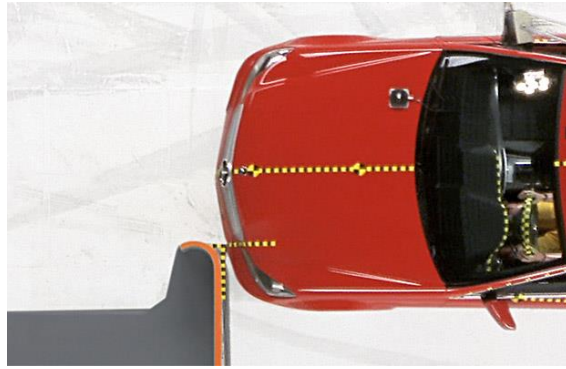


**Figura 24 Prueba frontal de superposición moderada**

**Fuente:** (Insurance Institute for Highway Safety, 2017)

Las fuerzas en la prueba son similares a las que resultarían de un choque frontal entre dos vehículos del mismo peso, cada uno de ellos pasando a menos de 40 mph.

En la pequeña prueba frontal de traslapo, un vehículo viaja a 40 mph hacia una barrera rígida de 5 pies de altura. Un maniquí híbrido III que representa un hombre de tamaño medio está situado en el asiento del conductor. Veinticinco por ciento de la anchura total del vehículo golpea la barrera en el lado del conductor. (Insurance Institute for Highway Safety, 2017)



**Figura 25 Prueba frontal de traslapeo**

**Fuente:** (Insurance Institute for Highway Safety, 2017)

## **2.10.2. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)**

La Administración Nacional de Seguridad en el Tráfico en las Carreteras (NHTSA) es una agencia dependiente del gobierno de los Estados Unidos, y forma parte del Departamento de Transporte. (U.S. Department of Transportation, 2015)

### **2.10.2.1. Criterios para las pruebas de impacto frontal**

La prueba de impacto frontal tipo estándar se realiza a 56km/h (35 mph) contra una barrera fija. La prueba de impacto lateral tipo estándar se realiza a 62km/h (38.5 mph) contra una barrera móvil. (U.S. Department of Transportation, 2015)

Los resultados de la NHTSA habitualmente son sustancialmente menos exigentes que las mediciones de otras organizaciones de seguridad vial.

## **2.10.3. Euro-NCAP**

La asociación NCAP más conocida en España es el consorcio europeo Euro-NCAP, el cual ha servido para facilitar el acceso público a la

información referente a la seguridad pasiva de los vehículos cuando se produce una colisión. Se trata de un consorcio independiente que agrupa a distintas administraciones y asociaciones europeas que representan a más de 150 millones de consumidores. Nació en 1997 respaldado por cinco gobiernos europeos, y entre sus integrantes destacan el Departamento de Transportes del Reino Unido, la Administración de Carreteras de Suecia, Holanda, Francia, Alemania, la Alianza Internacional de Turismo, la Federación Internacional de Automovilismo y la asociación Testing, que agrupa a 25 organizaciones de consumidores. (Illescas Pérez, 2009)

#### **2.10.3.1. Criterios para la prueba de impacto frontal**

Este tipo de prueba son realizadas del mismo modo que las obligatorias para pasar los test de homologación, pero Euro-NCAP las realiza a una velocidad mayor, a 64 km/h siendo más exigentes. Además de los dummies sentados en los asientos delanteros, se sitúan dos maniqués infantiles en los asientos traseros, uno que representa a un niño de 18 meses, y otro que representa a uno de 3 años, ambos sentados en sillas de retención infantil recomendadas por los fabricantes. (Rodríguez Prado & Álvarez López, 2009)

#### **2.11. Método de elementos finitos (MEF)**

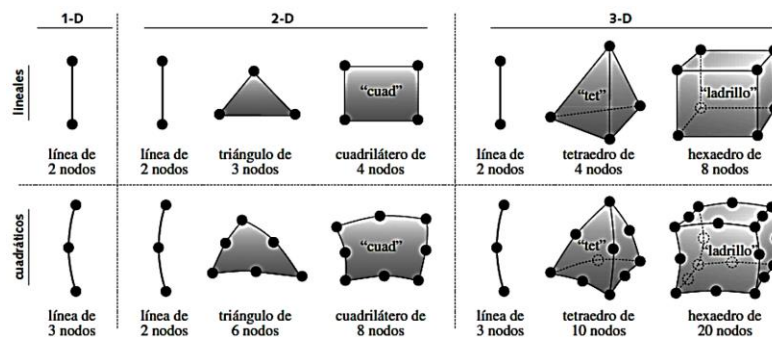
En muchos casos el uso de herramientas matemáticas no es suficiente cuando se requieren analizar problemas prácticos, en tales casos el uso de métodos de elementos finitos es preferible ya que nos da la posibilidad de mejorar y refinar las soluciones aproximadas mediante la colaboración de recursos computacionales. (López, 2016)

Los elementos finitos están basados en la representación de un cuerpo mediante un ensamble que contiene varias subdivisiones que se los llama elementos, dichos elementos se interconectan a través de una cantidad finita de puntos llamados nodos. (Carnicero, 2001)

En los métodos de elementos finitos la solución viene dada por la unión de pequeñas subregiones interconectadas llamadas elementos finitos, un cuerpo o forma geométrica definida están estructurados por varios de estos elementos que contienen en sí sus propias soluciones dependiendo de las condiciones de equilibrio general de la estructura y de las variables que se relacionan al sistema físico. (Zienkiewicz & Taylor, 2005)

### 2.11.1. Tipos de elementos

Los elementos pueden ser uni, bi o tridimensionales, llamados también elementos de línea, superficie y volumen, respectivamente. Asimismo, pueden ser de diferente orden, término que se refiere al orden de la función (usualmente un polinomio) que define la distribución de desplazamiento a través del elemento. (Norton, 2011)



**Figura 26 Elementos finitos comunes**

Fuente: (Norton, 2011)

Norton (2011) enfatiza que en un elemento lineal triangular o tetraedro, la función de desplazamiento a través del elemento es una línea

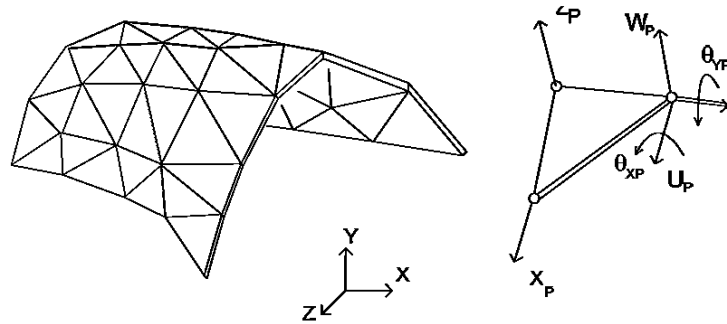
recta y la deformación es constante. Los esfuerzos se determinan a partir de la deformación y el módulo de elasticidad del material. Los triángulos lineales y tetraedros también tienen esfuerzo constante a través de su dimensión. Los triángulos cuadráticos, tetraedros y ladrillos tienen funciones parabólicas de desplazamiento y una distribución de deformación lineal (y esfuerzo) dentro del elemento, los mismos que ofrecen mejores estimaciones de esfuerzo.

### **2.11.2. Elementos tipo cáscaras (shell)**

El desarrollo de la teoría Shell y métodos numéricos para estructuras shell ha llegado a ser uno de los temas principales de investigación. La teoría shell es básicamente un modelo matemático de dos dimensiones (2D) configurado para caracterizar el comportamiento de estructuras de paredes delgadas tridimensionales (3D). Este tipo de elementos son satisfactorios para estructuras sometidas a flexión y deformación, además brindan buenos resultados siendo el costo computacional más bajo. (Esmeraldas, 2016)

Para cascarones de orden inferior con integración reducida uniforme, una pequeña rigidez artificial puede ser incluida para suprimir los modos de reloj de arena descritos más adelante. Pero esos elementos pueden ser usados para analizar estructuras shell curvos, siempre que la geometría y deformación sean modeladas apropiadamente.

El estudio para elementos tipo shell con grandes deformaciones plásticas se lo realiza utilizando el software comercial LS-DYNA.

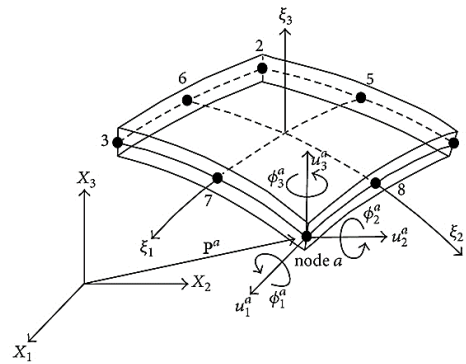


**Figura 27 Cáscara modelizada mediante elementos planos**

Fuente: (Celigüeta Lizarza, 2008)

### 2.11.3. Shell 163

Shell 163 es un elemento de 4 nodos que puede soportar cargas por flexión y cargas normales. El elemento tiene 12 grados de libertad en cada nodo: traslaciones, aceleraciones y velocidades en las direcciones nodales X, Y, Z y rotaciones alrededor de los ejes nodales X, Y, y Z. Este elemento se utiliza sólo en el análisis de dinámica explícita. (ANSYS, 2015)



**Figura 28 Elemento shell de 8 nodos con seis grados de libertad**

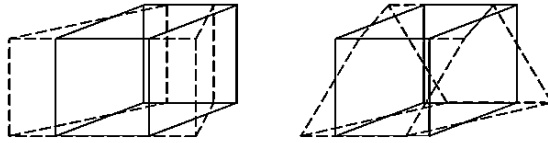
Fuente: (HINDAWI, 2013)

### 2.11.4. Reloj de arena “Hourglass”

El hourglass es un efecto de deformación con energía cero que oscila a una frecuencia mucho mayor que la respuesta global de la estructura. Las formas de hourglass son estados matemáticos que no son físicamente



posibles. Típicamente, no poseen rigidez y dan una apariencia de zigzag a la deformación de la malla. Los elementos de integración reducida promueven la deformación con energía cero. (ANSYS, 2015)

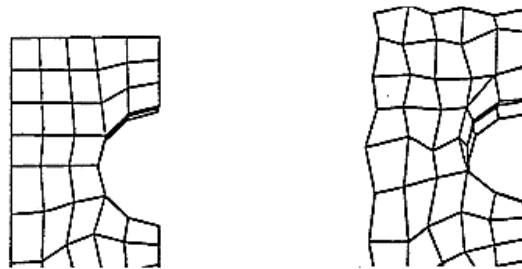


**Figura 29 Modos de Hourglass**

**Fuente:** (Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2012)

Una solución generalmente aplicable a problemas de hourglassing es el uso de las formulaciones totalmente integrados de SHELL163 y SOLID164. Estos elementos totalmente integrados no experimentan modos de hourglassing. Sin embargo, estas opciones son más costosos (en tiempo de CPU) que otras formulaciones de elementos.

Al realizar un análisis en dinámica explícita con elementos de integración reducidos, siempre es importante determinar si los efectos de hourglassing han degradado significativamente los resultados. Como norma general, la energía hourglassing no debe superar el 10% de la energía interna.



**Figura 30 Cáscara modelizada mediante elementos planos**

**Fuente:** (Celigüeta, 2008)

Dentro de las diferentes formulaciones que dispone el programa se empleará la que por defecto se encuentra, siendo Flanagan Belytschko la

formulación más rápida para resolver análisis dinámicos con placas. Por la presencia de este fenómeno se puede invalidar los resultados de un análisis si su valor es superior al 10% de la energía interna, por lo tanto, se debe minimizar o eliminar. En muchos casos 5% puede resultar excesivo. (ANSYS, 2015)

### **2.11.5. Proceso de resolución mediante el Método de Elementos Finitos**

Para llevar a cabo el análisis de la simulación de impacto con el método de elementos finito, es necesario conocer las tres fases principales del procedimiento de resolución que permiten alcanzar resultados evitando pérdidas innecesarias de tiempo.

#### **2.11.5.1. Pre-proceso**

Implica el cumplimiento de los requerimientos básicos de estudio, y de los cuales derivarán los resultados del estudio y su fiabilidad, y son:

- Definir el dominio geométrico del problema.
- Definir el tipo de elemento a ser usado.
- Definir las propiedades de los materiales de los elementos.
- Definir las propiedades geométricas de los elementos (longitud, área, espesor, entre otros.)
- Definir la conectividad de los elementos.
- Definir las restricciones físicas (condiciones de frontera).
- Definir las cargas

### **2.11.5.2. Solución**

Se formula una serie de ecuaciones algebraicas y mediante un computador se determina los valores de las variables primarias. Se produce, además:

- Miles/millones de ecuaciones algebraicas que representan el sistema.
- Se almacenan las variables (memoria del computador).
- Tiempo de solución.

### **2.11.5.3. Pos-proceso**

Se refiere a la evaluación y representación de las expresiones significativas como:

- Calcular tensiones de los elementos y representarlos gráficamente, y en orden de magnitud.
- Calcular factores de seguridad.
- Representar el comportamiento mediante animaciones.
- Representar los resultados requeridos mediante gráficos

## **2.12. Aerodinámica automotriz**

La aerodinámica es la ciencia que se ocupa del movimiento de aire y otros fluidos gaseosos, o dicho de otra manera de las acciones ejercidas por el aire sobre cuerpos sólidos inmersos en él. Todo objeto que se mueva lo hará en contra de la resistencia del aire. En cada instante, su movimiento ha de desplazar el aire de su posición, y éste a su vez, se desplaza preferentemente hacia el espacio que ha quedado libre. (Gómez, Navarro, Águeda, Gracia, & García, 2009, pág. 20).

“Este estudio se apoya en teorías físico-matemáticas cada vez más perfeccionadas y se controla a través de potentes y sofisticados programas informáticos y por medio de pruebas realizadas en instalaciones experimentales (túneles de viento)” (Gómez et al., 2009, pág. 20).

De hecho, “el flujo aerodinámico también afecta al confort de los pasajeros a través de la sonoridad. Las fuentes de ruido aerodinámico suelen coincidir con las que forman turbulencia, por lo que, en principio, un buen coeficiente aerodinámico hace que el vehículo sea silencioso”. (Gómez et al., 2009).



**Figura 31 Aerodinámica automotriz**

**Fuente:** (Networks, 2017)

## **2.13. Propiedades del aire**

### **2.13.1. Fluido**

Se denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Los fluidos se caracterizan por cambiar de forma sin que existan fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma original. En el cambio de forma de un fluido la posición que toman sus moléculas varía, ante una fuerza aplicada sobre ellos, pues justamente fluyen. (Santamaria & Calero, 2012)

### 2.13.2. Densidad

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia. Se expresa como la masa ( $m$ ) de un cuerpo dividida por el volumen ( $V$ ) que ocupa (Smits, 2003, pág. 12):

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

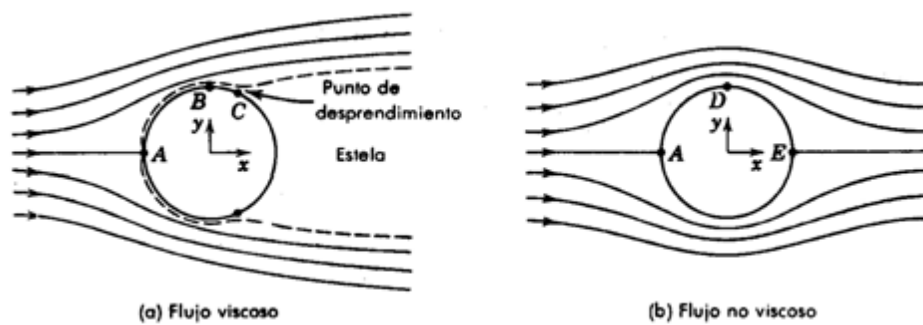
$\rho$  = densidad

$m$  = masa

$v$  = volumen

### 2.13.3. Viscosidad

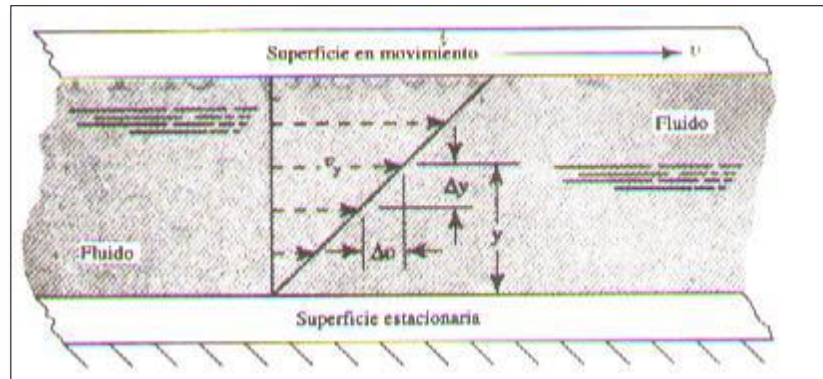
“Es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido”. (Giles, 1991).



**Figura 32 Viscosidad**  
Fuente: (Streeter & Wylie, 1995)

#### 2.13.4. Viscosidad dinámica

En el año 2006 Mott deja claro que “cuando un fluido se mueve, se desarrolla en él una tensión de corte cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. La “tensión de corte” se denota con la letra griega  $\tau$  (tao), y se define como la fuerza necesaria para deslizar una capa de área unitaria sobre otra de la misma sustancia. (pág.27)



**Figura 33 Gradiente de velocidad en un fluido en movimiento**  
Fuente: (Mott, 2006)

$$\tau = \mu \frac{\Delta v}{\Delta y} \quad \text{Ec. 5}$$

En la que:

$\tau$  = Tensión de Corte [N/m<sup>2</sup>]

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido [N\*s/m<sup>2</sup>]

$\Delta v$  = Gradiente de Velocidad [m/s]

$\Delta y$  = Variación de la Posición [m]

### 2.13.4.1. Viscosidad cinemática

“Muchos cálculos en mecánica de fluidos implican el cociente de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido, como una convención, la viscosidad cinemática, ecuación 4.3,  $\nu$  (letra griega  $\nu$ ), se define como” (Mott, 2006, pág. 29).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec. 6}$$

En donde:

$\nu$  = Viscosidad Cinemática [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

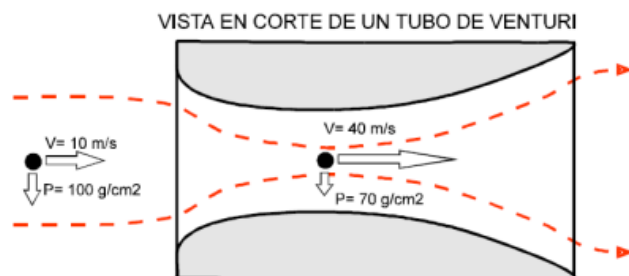
$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido [ $\text{N}^*\text{s}/\text{m}^2$ ]

$\rho$  = Densidad [ $\text{Kg.}/\text{m}^3$ ]

Puesto que  $\mu$  y  $\rho$  son propiedades del fluido  $\nu$  también lo es.

### 2.13.5. Efecto Venturi

Si en cierto fenómeno por donde pasa el aire, hay un cambio de sección, por ejemplo, de mayor a menor, la cantidad de aire que entra ha de ser la misma que la que sale, con lo que, por la sección mayor la velocidad del aire será menor que la velocidad del mismo aire al pasar por la sección menor. Esto es el efecto Venturi: al aumentar la velocidad, la presión disminuye y viceversa.



**Figura 34 Efecto venturi**  
Fuente: Manual de Vuelo, Juan Zitnik.

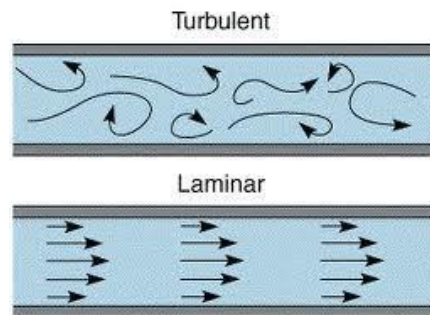
## 2.13.6. Flujo laminar y turbulento

### 2.13.6.1. Flujo laminar

El flujo laminar se define como aquel en el que el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose suavemente una capa sobre la otra capa adyacente con sólo un intercambio molecular de cantidad de movimiento. Cualquiera que sea la tendencia hacia la inestabilidad y la turbulencia, se amortigua por fuerzas cortantes viscosas que resisten el movimiento relativo de las capas adyacentes. (Streeter & Wylie, 1995, pág. 188)

### 2.13.6.2. Flujo turbulento

El flujo turbulento es el flujo altamente aleatorio y caótico que se produce a altos números de Reynolds y se caracteriza por la formación de remolinos y vórtices de varios tamaños. A diferencia del flujo laminar, en el que se determina el comportamiento de fluidos sobre todo por las fuerzas viscosas, el comportamiento del fluido en el flujo turbulento es determinado por las fuerzas de inercia.



**Figura 35 Flujo laminar y turbulento**

**Fuente:** (Andrade & Méndez, 2012)



### 2.13.7. Número de Reynolds

“El número de Reynolds ( $Re$ ) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, que relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión, y nos permite predecir el tipo de flujo que tiene el fluido sin necesidad de observarlo ya que en algunos es imposible observar el fluido que pasa por tubos opacos”. (Mott, 2006).

El número de Reynolds se define mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho V_s D}{\mu} \quad \text{Ec. 7}$$

Que también equivaldría a:

$$Re = \frac{V_s D}{\nu} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del fluido

$V_s$  = Velocidad del fluido

$D$  = Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido

$\mu$  = Viscosidad dinámica

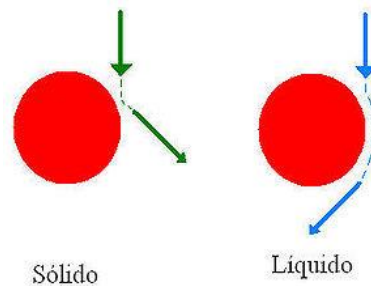
$\nu$  = Viscosidad cinemática

Si  $Re < 2000$ , el flujo es laminar

Si  $Re > 4000$ , el flujo es turbulento

### 2.13.8. Efecto Coanda

El fluido siempre tiende a apegarse sobre las superficies, ese es el efecto coanda, es un efecto fácil de entender pero que es de gran importancia y se debe tener en cuenta en todo diseño, de manera más sencilla se trata de canalizar el aire donde queramos o se necesita, sin necesidad de deflactarlo con la resistencia que se oponga. (Santamaria & Calero, 2012).



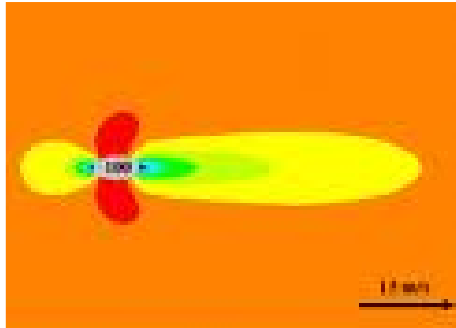
**Figura 36 Efecto coanda**

**Fuente:** (ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTOQUIA, 2009)

### 2.13.9. Estela

Es una región de difusión creciente que está detrás del cuerpo como se indica. Los límites de la estela, la región separada y la capa límite turbulenta, depende mucho del tiempo, en la posición promedio temporalmente de la estela, se indica con líneas interrumpidas. La estela, que se visualiza en el (Fig 4.7) detrás del modelo, constituye una de las principales fuentes del coeficiente de arrastre  $C_x$ .

Su formación se produce principalmente por las separaciones en el extremo trasero e implícitamente por las inestabilidades de la zona frontal. En la zona de la superficie base, la estela produce una región de baja presión generando intensos vórtices longitudinales y flujo transversal, que extraen energía cinética al flujo incidente y producen el fenómeno de las separaciones. (Andrade & Méndez, 2012).



**Figura 37 Estela**

**Fuente:** (Francis (th)E mule Science's News, 2013)

## 2.14. Fuerzas implicadas en la aerodinámica

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

- Fuerza de resistencia al avance, es horizontal y se opone al desplazamiento del vehículo.
- Fuerza de sustentación, es vertical y en automovilismo esta fuerza se necesita que sea negativa.

### 2.14.1. Fuerza de sustentación

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

“En automovilismo para la sustentación se utiliza la notación  $F_z$ , y  $C_z$  para el coeficiente de sustentación, ya que esta fuerza actúa paralelamente al eje OZ del triedro de referencia que se asocia al vehículo”. (Andrade & Méndez, 2012).

Según Gómez et al. (2009), “este valor hace referencia a las fuerzas aerodinámicas que actúan verticalmente en la carrocería. Es el denominado coeficiente de sustentación, que mide el apoyo de las ruedas con el suelo y su posible aligeración por efecto del viento o por traslado de masas suspendidas”. (pág. 26)

De hecho, “para determinar el  $C_z$  más adecuado, hay que tener en cuenta que obtener un fuerte apoyo aerodinámico implica empeorar el  $C_x$ , ya que la fuerza que empuja al vehículo contra el suelo es producto del propio avance del mismo”. (Gómez et al., 2009, pág. 27).

La fórmula es:

$$F_z = C_z \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_f^2 \cdot A_f \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

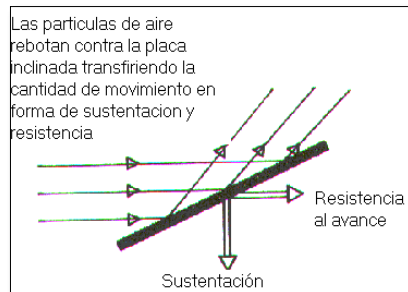
$F_z$  = fuerza de sustentación (N)

$C_z$  = coeficiente de sustentación (Adimensional)

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

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

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



**Figura 38 Sustentación**

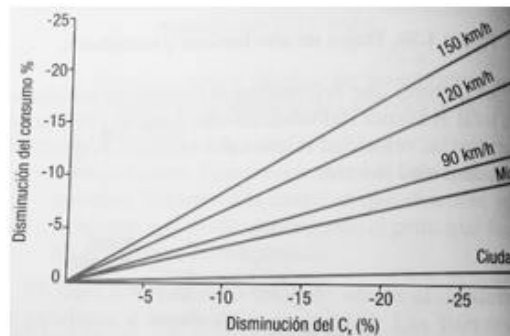
**Fuente:** (Andrade & Méndez, 2012)

### 2.14.2. Fuerza de resistencia al avance

Dentro de las fuerzas que influyen en la aerodinámica tenemos la resistencia al avance, la misma que depende del coeficiente de resistencia al avance ( $C_x$ ), producto del diseño del vehículo, específicamente el área frontal y la velocidad a la que circulará el vehículo. (Santamaria & Calero, 2012).

El coeficiente de resistencia al avance es un número adimensional que nos indica la eficiencia aerodinámica del vehículo, mientras menor sea dicho coeficiente mayor es la capacidad de penetración aerodinámica del vehículo.

“El ruido producido por el vehículo al circular, las prestaciones y el consumo de combustible, dependen directamente de la resistencia aerodinámica”. (Gómez et al., 2009, pág. 24)



**Figura 39 Fuerza de resistencia al avance**

**Fuente:** (Gómez et al., 2009, pág. 24)

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

La fórmula es:

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot C_z \cdot \rho \cdot v f^2 \cdot A_f \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

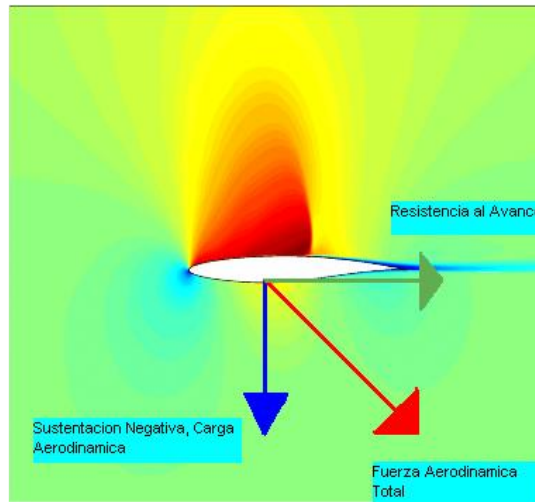
$F_z$  = fuerza de arrastre (N)

$C_z$  = coeficiente aerodinámico (Adimensional)

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

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

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



**Figura 40 Fuerza Aerodinámica Total Resultante**

**Fuente:** (Andrade & Méndez, 2012)

### 2.14.3. Potencia

Según Santamaria & Calero (2012), “en el motor se define como, la facultad de proporcionar un número determinado de revoluciones por minuto. La potencia desarrollada por un motor depende de los rasgos constructivos, así como factores que inciden en el proceso de transformación de la energía”.

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

La fórmula de potencia es:

$$Pot = Ft \cdot v \quad \text{Ec. 11}$$

Donde

$Ft$  = Es la suma de las fuerzas de rodamiento ( $Fr$ ), más la del aire ( $Fa$ ) (N)

De otro modo:

$$Pot = \frac{1}{2} \cdot C_z \cdot \rho \cdot Af \cdot vf^3 \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

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

$C_z$  = Coeficiente de arrastre.

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

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

$vf$  = Velocidad del fluido (m/s).

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CARROCERÍA

#### 3.1. Introducción

El objetivo principal del análisis estructural es asegurar la fiabilidad y la durabilidad de las estructuras; los métodos de análisis estructural se basan en la concepción de una estructura tal como un cuerpo elástico ideal.

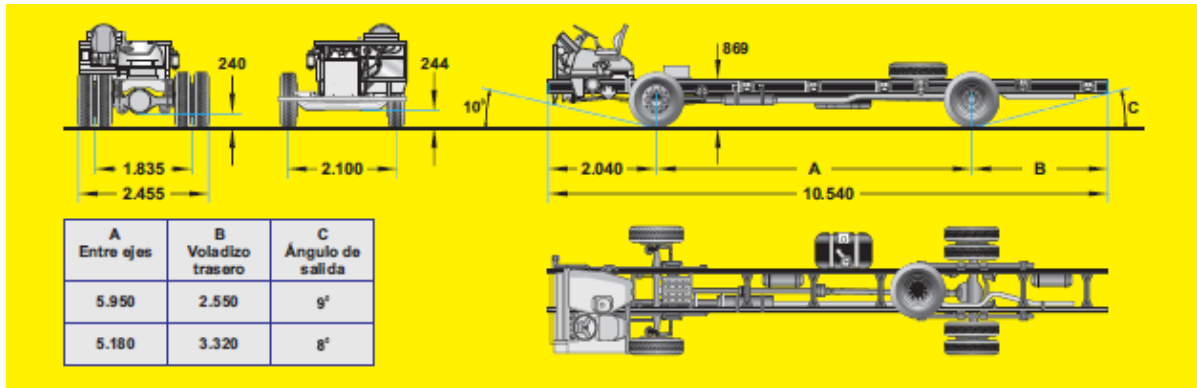
El análisis estructural se puede realizar por medio de pruebas en la estructura real, en un modelo físico de la estructura a escala, o mediante el uso de un modelo matemático. Si el modelo estructural seleccionado es detallado o simplificado, una parte muy importante del análisis consiste en la estimación de las cargas a ser aplicado.

A través de la ingeniería estructural se puede realizar un análisis completo; en este caso se realiza un análisis de cada parámetro que forma parte de la configuración del software donde se lleva a cabo el estudio, en esta configuración el diseñador debe poseer experiencia en mecánica y resistencia de materiales para poder interpretar el comportamiento de la carrocería al condicionarle parámetros como restricciones, masas, velocidades.

#### 3.1.1. Especificaciones y descripción de la carrocería

Para la construcción de buses interprovinciales la empresa Olímpica Quito utiliza el chasis para bus Volkswagen 17. 210 OD, mismo que se encuentra homologado por la Agencia Nacional de Tránsito para ser carrozado.





Dimensiones principales (mm)

**Figura 41 Chasis Volkswagen 17210 OD****Fuente:** (Autec, 2016)

La carrocería está diseñada para transportar 45 pasajeros sentados más el tripulante y el conductor. En la siguiente tabla se detallan las especificaciones del chasis.

Como podemos observar en la figura 41, tenemos las dimensiones relevantes del chasis, es un chasis Volkswagen 17210 OD cuya distancia entre ejes es de 5.950 mm y voladizo trasero es de 2.550mm.

**Tabla 5**  
**Especificaciones Chasis Volkswagen 17.210 OD**

| Especificaciones Chasis Volkswagen 17.210 OD |                                   |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>DIMENSIONES DEL CHASIS</b>                |                                   |
| <b>Largo total</b>                           | 10540 mm                          |
| <b>Ancho máximo</b>                          | 2455 mm                           |
| <b>Distancia entre ejes</b>                  | 5180 mm                           |
| <b>Voladizo delantero</b>                    | 2040 mm                           |
| <b>Voladizo trasero</b>                      | 3320 mm                           |
| <b>Peso Bruto Vehicular</b>                  | 16 Ton                            |
| <b>Peso de chasis</b>                        | 4870 Kg                           |
| <b>MOTOR</b>                                 |                                   |
| <b>Modelo</b>                                | MWM 6.10 TCA                      |
| <b>N° de Cilindros/Cilindrada</b>            | 6 en línea / 6449 cm <sup>3</sup> |
| <b>Diámetro / Carrera de émbolo</b>          | 103 / 129 mm                      |
| <b>Potencia neta máx.</b>                    | 206 Kw (151,5 cv) a 2600 RPM      |
| <b>Par motor neto máx.</b>                   | 67 kgfm (657 Nm) a 1700 RPM       |

**Fuente:** (AUTEC, 2016)

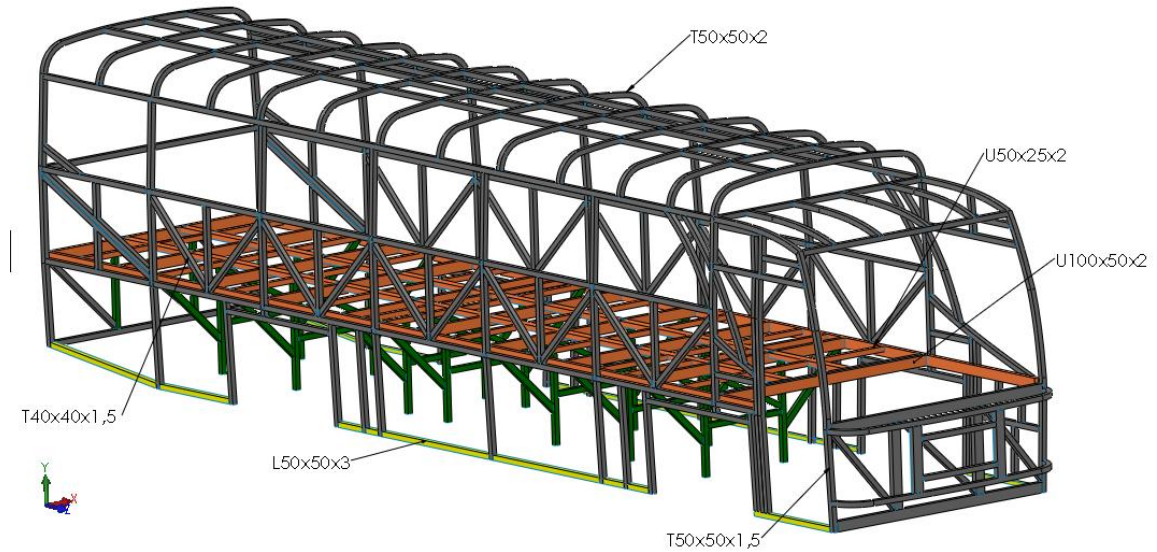
### 3.1.2. Especificaciones de perfiles empleados

Los perfiles empleados en la elaboración de las estructuras metálicas para carrocerías de autobuses interprovinciales que utiliza la empresa cumplen con la NTE INEN 1623:2015 esta norma aplica a todos los perfiles abiertos conformados en frío para uso estructural, fabricados en acero al carbono negro o pre galvanizado según los grados establecidos. Para los tubos de acero la NTE INEN 2415:2008 establece los requisitos que deben cumplir los tubos de acero al carbono tanto negros como galvanizados, conformados en frío, soldados (con costura) de sección circular, cuadrada, rectangular o especial para aplicaciones estructurales y usos generales.

En la tabla 6 se detallan los perfiles estructurales empleados por la empresa Carrocerías Olímpica Quito:

**Tabla 6**  
**Especificaciones de perfiles empleados**

| Unidad estructural | Designación (mm)            | Designación del acero |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------|
| <b>Piso</b>        | Canal de refuerzo U100x50x2 | ASTM A500             |
|                    | Canal de refuerzo U50x25x2  |                       |
| <b>Laterales</b>   | Tubo cuadrado 40x40x1,5     | ASTM A500             |
|                    | Tubo cuadrado 50x50x1,5     |                       |
|                    | Ángulo 50X50X3              |                       |
| <b>Techo</b>       | Tubo cuadrado 50x50x2       | ASTM A500             |
|                    | Canal de refuerzo U50x25x2  |                       |
| <b>Frontal</b>     | Tubo cuadrado 50x50x2       | ASTM A500             |
|                    | Tubo cuadrado 40x40x1,5     |                       |
| <b>Posterior</b>   | Tubo cuadrado 50x50x2       | ASTM A500             |
|                    | Tubo cuadrado 40x40x1,5     |                       |



**Figura 42 Perfiles empleados**

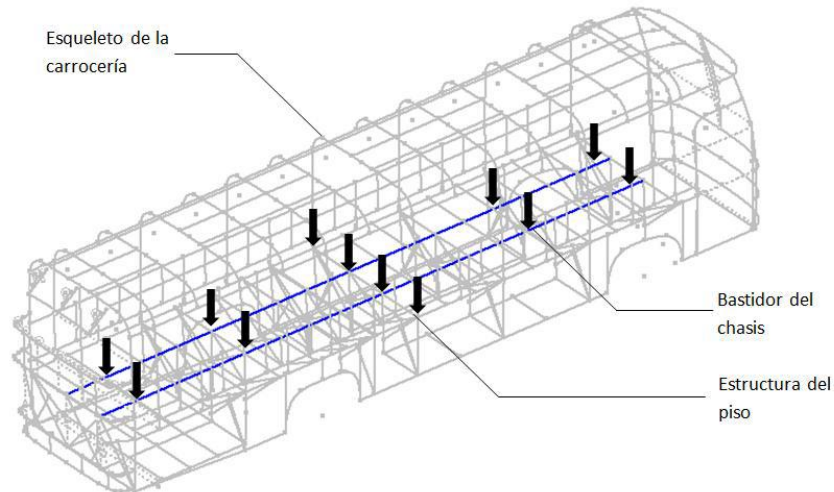
### 3.2. Cargas que actúan en una superestructura

“La carrocería debe resistir cargas estáticas y dinámicas con la finalidad de no sufrir deformaciones en ningún punto de la estructura y así el espacio de supervivencia no resulte invadido”. (Esmeraldas, 2016)

#### 3.2.1. Cargas de Flexión

“Este tipo de cargas actúan a lo largo del bastidor y piso de la carrocería en dirección vertical hacia el centro de la tierra provocando un fleje de la carrocería”. (Andrade & Méndez, 2012)

Las cargas de flexión aparecen por la acción del peso de la carga muerta y útil, cuyas reacciones provienen de los neumáticos.



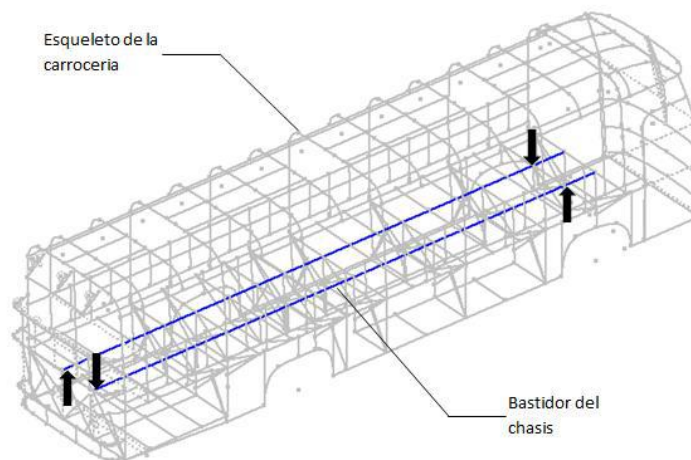
**Figura 43 Cargas de flexión**

**Fuente:** (Andrade & Méndez, 2012)

### 3.2.2. Cargas de torsión

“Estas cargas actúan a los costados y lo largo del bastidor y carrocería intentando torcerlas, aplicando cargas en direcciones contrarias y cuyas reacciones provienen de los neumáticos”. (Andrade & Méndez, 2012)

Estas cargas se generan por un desbalance del peso de la carga útil derivadas de irregularidades como baches o pequeñas elevaciones súbitas.



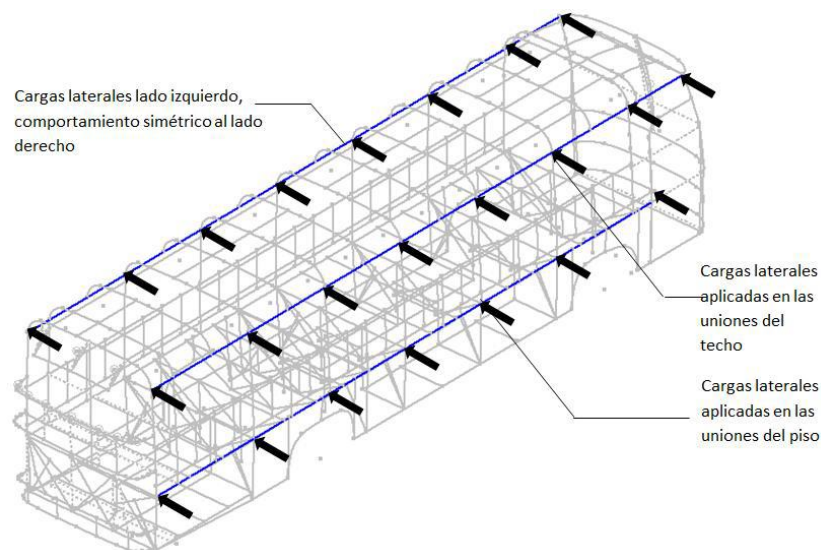
**Figura 44 Cargas de torsión**

**Fuente:** (Andrade & Méndez, 2012)

### 3.2.3. Cargas laterales

Estas cargas actúan en los pilares verticales de manera perpendicular al eje longitudinal intentando deformar la geometría del perfil frontal de la estructura, aplicando cargas en una misma dirección y cuyas reacciones provienen de los puntos de anclaje al bastidor transmitidas desde los neumáticos. (Andrade & Méndez, 2012)

Dichas cargas son provocadas por las fuerzas centrífugas a las que se somete la estructura al momento de tomar una curva, y también, aunque de manera despreciable las cargas de sotavento y barlovento. Ver figura 45



**Figura 45 Cargas laterales**

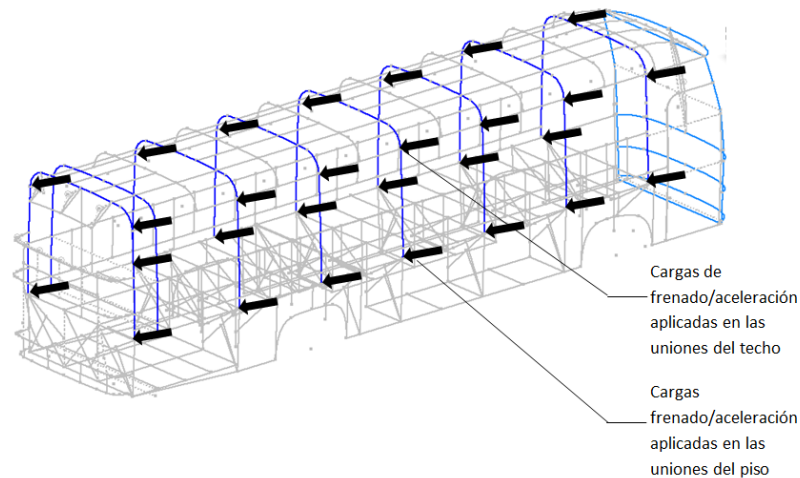
**Fuente:** (Andrade & Méndez, 2012)

### 3.2.4. Cargas de frenado y aceleración brusca

Estas cargas actúan en los pilares verticales de manera paralela al eje longitudinal intentando deformar la geometría del perfil lateral de la estructura, aplicando cargas en una misma dirección y cuyas reacciones

proviene de los puntos de anclaje al bastidor transmitidas desde los neumáticos. (Andrade & Méndez, 2012) Ver figura 46

Estas cargas son producto de las fuerzas inerciales de las masas en movimiento al intentar detenerse o vencer el estado de reposo (frenar o acelerar), también aparece por efecto de la resistencia del aire al avance del autobús.



**Figura 46 Perfiles empleados**

**Fuente:** (Andrade & Méndez, 2012)

### **3.3. Requisitos de cargas aplicadas bajo el criterio de la norma NTE INEN 1323:2009**

Este reglamento establece las cargas requeridas a la que se debe someter la carrocería mediante un análisis cuasi estático, posteriormente dichas cargas se las multiplica por factores de confiabilidad con lo que se puede generar cargas combinadas, ya sea por el método Allowable strength desing (ASD) o por el método Load resistance factor desing (LRFD). El método de cálculo de combinaciones de cargas está detallado en la normativa NTE INEN 1323:2009.

### 3.3.1. Carga muerta (CM)

“Corresponde al peso total de la carrocería en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios” (NTE INEN 1323, 2009).

Se determina la carga muerta (CM) por medio de la siguiente ecuación:

$$CM = Mb * g \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$CM$  = Carga muerta [N]

$Mb$  = Masa total de la carrocería [Kg]

$g$  = Gravedad [ $m/s^2$ ]

Datos:

Masa del chasis: 4870 Kg

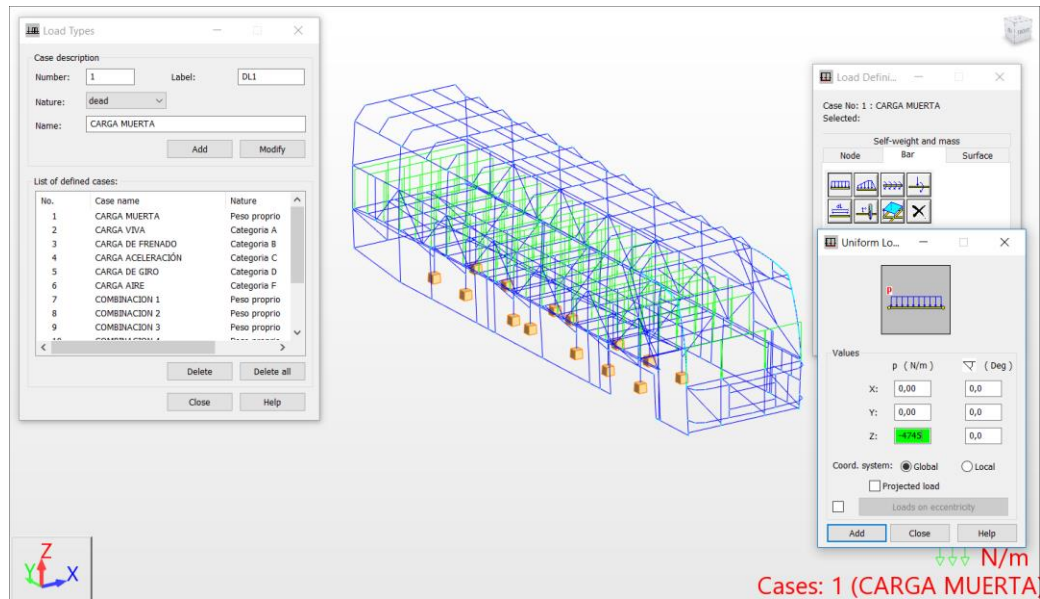
Masa de la carrocería: 5783 Kg

Masa del bus: 10653 Kg

$$CM = 10653(Kg) * 9,8 \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$CM = 104399,4 [N]$$

En la figura 47 se muestra la configuración en un programa de asistencia computacional de la carga muerta para el análisis estático según determina la norma técnica INEN.



**Figura 47 Aplicación de carga muerta**

Se considera la aplicación en 22 elementos estructurales por lo cual el valor de aplicación es de 4745 N.

### 3.3.2. Carga viva (CV)

“Corresponde a la carga por ocupación y se la considera como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería” (NTE INEN 1323, 2009)

Se determina la carga viva (CV) por medio de la siguiente ecuación:

$$CV = (Mp + Me) * g \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

$CV$  = Carga viva [N]

$Mp$  = Masa total de las personas [Kg]

$Me$  = Masa total del equipaje [Kg]



$g = \text{Gravedad [m/s}^2\text{]}$

Datos:

Número de personas: 44 pasajeros + conductor y ayudante = 46 ocupantes

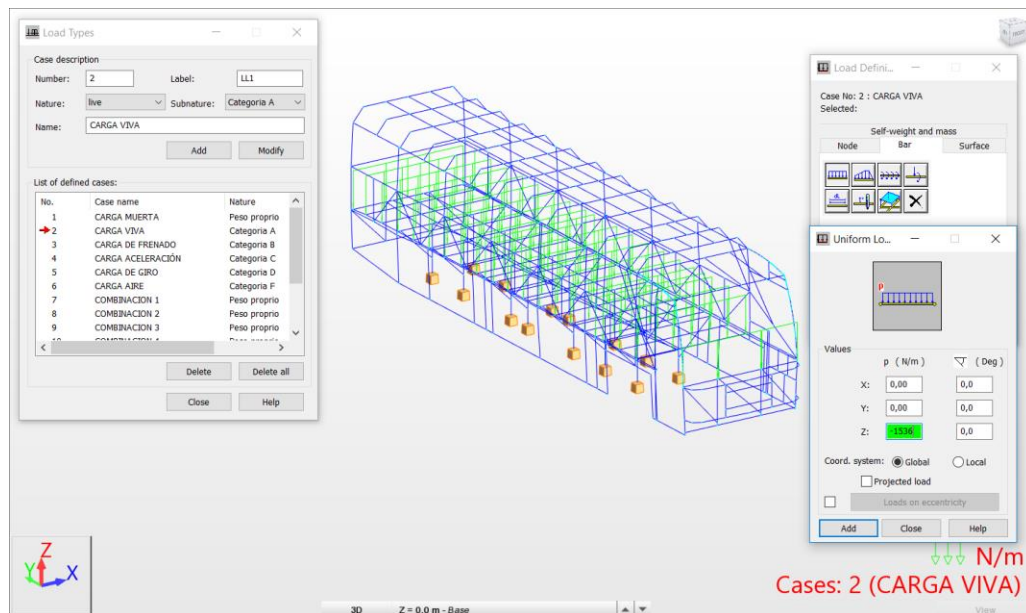
$$M_{unitaria} = 70 \text{ (Kg) ocupante} + 5 \text{ (Kg) equipaje de mano} \\ = 75 \text{ (Kg)}$$

$$M_{total} = 75 \text{ (Kg)} * 46 \text{ (Ocupantes)} = 3450 \text{ (Kg)}$$

$$CV = 3450 \text{ (Kg)} * 9,8 \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$CV = 33810 \text{ [N]}$$

En la figura 48 se aprecia la aplicación de la carga viva sobre la estructura según la norma.



**Figura 48 Aplicación de carga viva**

Se considera la aplicación de la carga viva sobre la plataforma de la carrocería que similar a la carga muerta se coloca sobre 22 componentes estructurales, siendo en cada uno aplicado 1536 N.

### 3.3.3. Carga de frenado (CF)

Corresponde a la fuerza producida por la variación de la velocidad del bus, se asume una desaceleración mayor o igual a  $4 \text{ m/s}^2$

Se determina la carga de frenado (CF) por medio de la siguiente ecuación:

$$CF = (Mp + Me + Mb) * a \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

$CF$  = Carga de frenado [N]

$Mp$  = Masa total de las personas [Kg]

$Me$  = Masa total del equipaje [Kg]

$Mb$  = Masa de la carrocería integra [Kg]

$a$  = desaceleración [ $\text{m/s}^2$ ]

Datos:

$Mp = 3220$  [Kg]

$Me = 230$  [Kg]

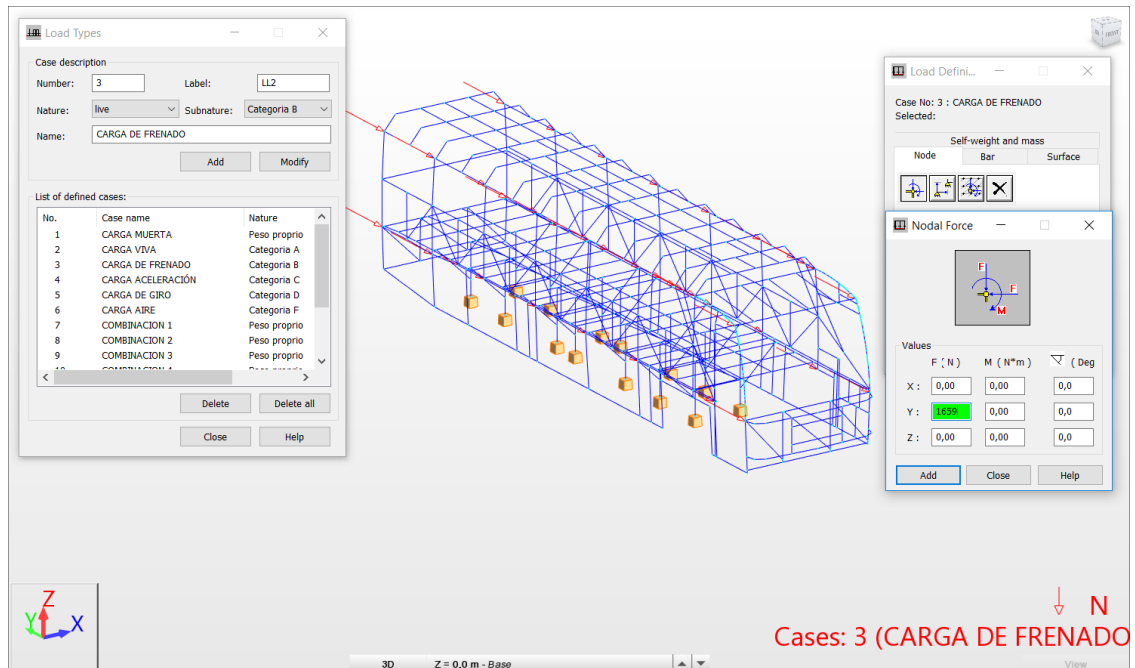
$Mb = 10653$  [Kg]

$a = 4$  [ $\text{m/s}^2$ ]

$$CF = (3220 + 230 + 10653)(Kg) * (4)(\text{m/s}^2)$$

$$CF = 56412 [N]$$

La configuración de esta carga es en 34 nodos tomando en cuenta los dos lados de la carrocería lo cual se muestra en la figura 49:



**Figura 49 Aplicación carga de frenado**

En cada nodo se ha configurado un valor de carga de 1659 N.

### 3.3.4. Carga de aceleración brusca (CAb)

Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo. La carga de aceleración brusca es equivalente a la carga de frenado, pero en sentido contrario.

Por lo tanto, se tiene que la carga de aceleración brusca es:

$$CAb = -CF \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

$CAb$  = Carga de aceleración Brusca [N]

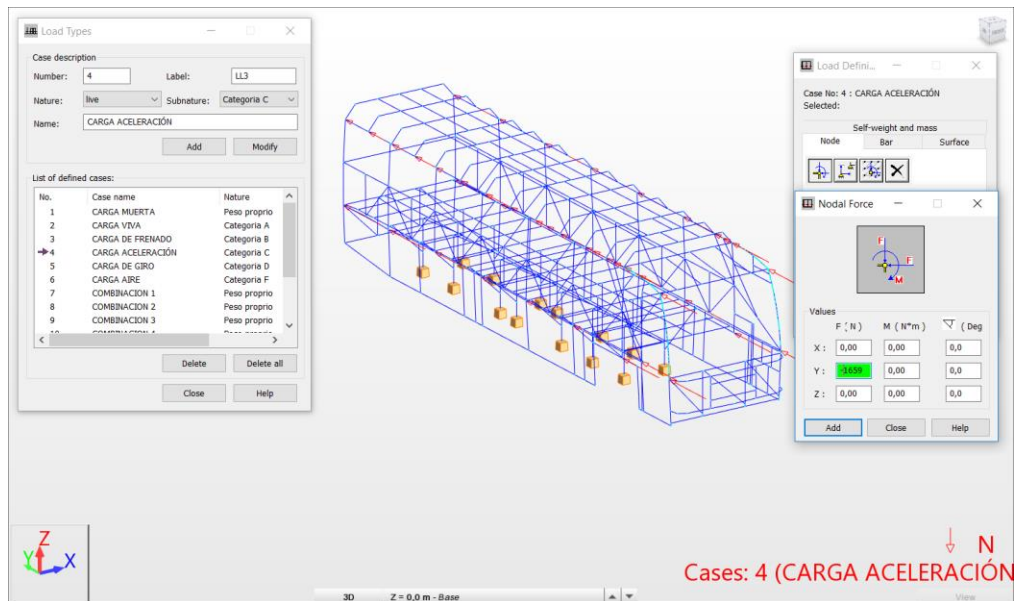
$CF$  = Carga de frenado [N]

Datos:

$$C_{Ab} = -CF$$

$$C_{Ab} = -56412 [N]$$

Se considera 17 puntos de aplicación en cada lado de la carrocería para la aplicación de las cargas de aceleración brusca, que es este caso la norma exigen que sean nodales y aplicas en los puntos donde se encuentran los mamparos de la estructura. Total, son 34 puntos de aplicación que tienen una carga de 1659 N.



**Figura 50 Aplicación carga de aceleración brusca**

### 3.3.5. Carga de giro (CG)

Se refiere a la carga producida por la fuerza centrífuga en el momento que un vehículo ingresa a una curva. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 Km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 2. (NTE INEN 1323, 2009).

Se tiene por lo tanto que la carga de giro (CG) es:

$$CG = (Mb + Me + Mp) * \frac{V^2}{r_c}$$

Ec. 17

Donde:

$CG$  = Carga de giro [N]

$Mb$  = Masa total del bus [Kg]

$Mp$  = Masa total de las personas [Kg]

$Me$  = Masa total del equipaje [Kg]

$V$  = Velocidad del bus [m/s]

$r_c$  = radio de curvatura [m]

**Tabla 7**  
**Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera**

| Velocidad del vehículo<br>(Km/h) | Radio de curvatura de la<br>carretera (m) | Peralte (%) |
|----------------------------------|-------------------------------------------|-------------|
| 80                               | 250                                       | 8           |
| 85                               | 300                                       |             |
| 90                               | 350                                       |             |
| 95                               | 400                                       |             |
| 100                              | 450                                       |             |
| 105                              | 500                                       |             |
| 110                              | 550                                       |             |
| 115                              | 600                                       |             |
| 120                              | 700                                       | 7,51        |
| 125                              | 800                                       | 6,97        |
| 130                              | 900                                       | 6,25        |
| 135                              | 1050                                      | 5,49        |
| 140                              | 1250                                      | 4,84        |
| 145                              | 1475                                      | 4,29        |

**Fuente:** (NTE INEN 1323, 2009)

Datos:

$Mp = 3220$  [Kg]

$$M_e = 230 \text{ [Kg]}$$

$$M_b = 10653 \text{ [Kg]}$$

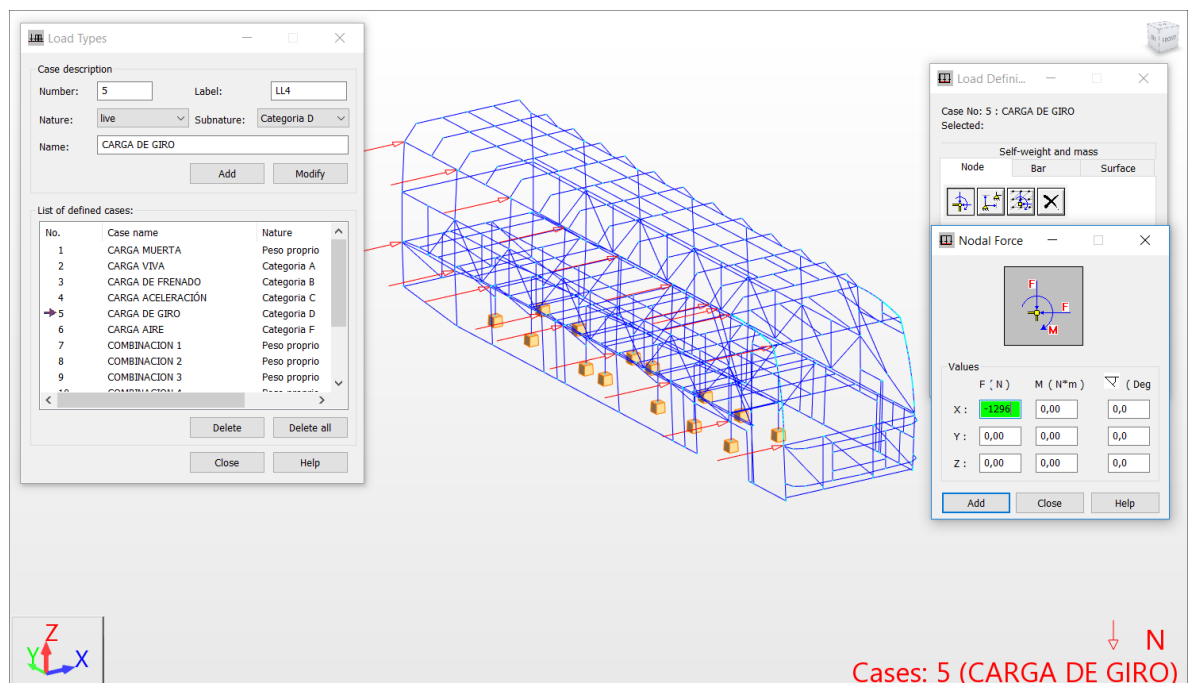
$$V = 25 \text{ m/s}$$

$$r_c = 400 \text{ m}$$

$$CG = (3220 + 230 + 10653) \text{ (Kg)} * \frac{(25 \text{ m/s})^2}{400 \text{ (m)}}$$

$$CG = 22035,94 \text{ [N]}$$

La configuración de la carga de giro se ha realizado en un solo lado de la carrocería, indistintamente y se ha configurado en el software a modo de fuerza nodal, dividiendo para 17 el valor de la carga calculada anteriormente, en virtud que ese es el número de punto que para este diseño se tiene.



**Figura 51 Aplicación de carga de giro**

El valor de carga de giro por nodo es de 1296 N

### 3.3.6. Carga por resistencia del aire frontal ( $R_{af}$ )

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

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$R_{af} = \frac{1}{2} (Cx) * \rho * Af * V^2 \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

$R_{af}$  = Resistencia del aire frontal [N]

$Cx$  = Coeficiente de arrastre (Como mínimo 0,7)

$\rho$  = densidad [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

$Af$  = Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular [ $\text{m}^2$ ]

$V$  = Velocidad del aire [ $\text{m}/\text{s}$ ] (Como mínimo 25  $\text{m}/\text{s}$ )

Datos:

$V = 25\text{m}/\text{s}$

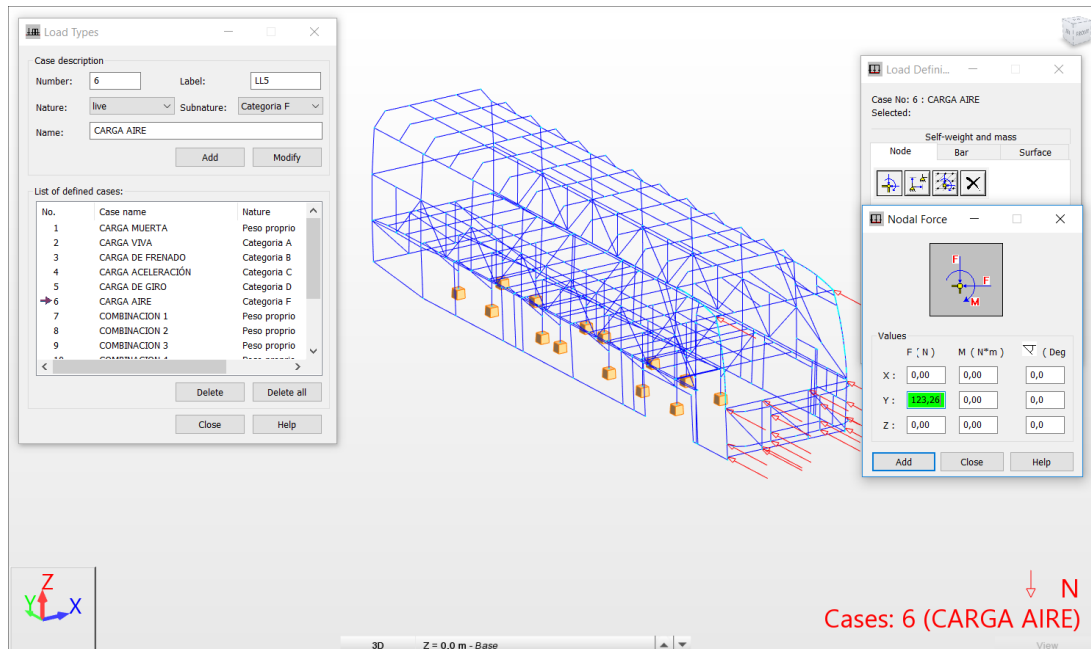
$\rho = 1,225 \text{Kg}/\text{m}^3$

$Af = 8,743 \text{m}^2$

$Cx = 0,7$

$$R_{af} = \frac{1}{2} (0,7) * (1,225) \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) * (8,743\text{m}^2) * (25\text{m}/\text{s})^2$$

$$R_{af} = 2342,85[\text{N}]$$



**Figura 52 Aplicación carga de aire frontal**

Se ha configurado en 19 nodos frontales de la carrocería por lo cual el valor de la carga es 123.26 N.

Como resultado de todas las cargas calculadas de acuerdo a la NTE INEN 1323:2009 se obtuvo los siguientes resultados presentados en la tabla 8

**Tabla 8  
Resumen de cargas estáticas y dinámicas**

| <b>Cargas Estáticas</b>                      | <b>VALOR (N)</b> |
|----------------------------------------------|------------------|
| <b>Carga muerta</b>                          | 104399,4         |
| <b>Carga viva</b>                            | 33810            |
| <b>Cargas Dinámicas</b>                      |                  |
| <b>Carga de aceleración brusca</b>           | 56412            |
| <b>Carga de frenado</b>                      | 56412            |
| <b>Carga de giro</b>                         | 22035,94         |
| <b>Carga por resistencia al aire frontal</b> | 2342,85          |



### 3.4. Combinaciones de cargas

“Las estructuras de las carrocerías deben ser diseñadas de tal manera que resistan los esfuerzos determinados en base al menos a las siguientes combinaciones de cargas básicas” (NTE INEN 1323, 2009).

#### 3.4.1. Método ASD (Allowable Strength Desing)

El método del Diseño por el esfuerzo permisible (ASD), evalúa la estructura de tal manera que las tensiones calculadas por efectos de las cargas de servicio no superen los valores máximos en las especificaciones, es decir que se trabaja en función de las tensiones admisibles, donde éstas son una fracción de las tensiones cedentes del material, ya que, por basarse en el análisis elástico de las estructuras, los elementos deben ser diseñados para comportarse elásticamente. (Esmeraldas, 2016)

En el método ASD se define la resistencia admisible en tracción dividiendo la resistencia nominal por un factor de seguridad.

Las combinaciones según el método ASD se muestra en la tabla:

**Tabla 9**  
**Combinaciones de carga según el Método ASD**

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

Fuente: (NTE INEN 1323, 2009)

### 3.4.2. Método LRFD (Load Resistance Factor Design)

Este es el método de diseño por factores de carga y resistencia que se basa en los conceptos de estado límite, mismo que describe una condición en la que la estructura, o alguna parte de ella, deja de cumplir su función. Este estado límite se puede clasificarse en dos tipos: los de resistencia y los de servicio. (Esmeraldas, 2016)

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

**Tabla 10**  
**Combinaciones de cargas según el método LRFD**

|          |                             |
|----------|-----------------------------|
| <b>1</b> | <b>1,4M + V</b>             |
| <b>2</b> | 1,2M + 1,6V + 0,5G          |
| <b>3</b> | 1,2M + 0,5V + 1,6G          |
| <b>4</b> | 1,2M + 1,6F + 0,8Raf        |
| <b>5</b> | 1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3Raf |
| <b>6</b> | 1,2M + 1,5Ab + 0,5V         |
| <b>7</b> | 0,9M – 1,3Raf               |
| <b>8</b> | 0,9M + 1,3Raf               |

**Fuente:** (NTE INEN 1323, 2009)

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO DE LA CARROCERÍA

#### 4.1. Selección del software

En la actualidad existe una gran variedad de paquetes computacionales que permiten realizar estudios complejos de ingeniería, facilitando el trabajo y reduciendo el tiempo invertido por los diseñadores al momento de realizar análisis estáticos o dinámicos de cualquier tipo de estructura.

A continuación, se describen los softwares utilizados tanto para el análisis estático y dinámico.

##### 4.1.1. Autodesk Robot Structural Analysis Professional (version demo)

De acuerdo a la Academia INGNova (2016), es un programa de cálculo de estructuras por elementos finitos que incluye una amplia variedad de códigos de diseño para el adecuado dimensionamiento de todo tipo de estructuras metálicas y de hormigón, además recoge la posibilidad de contemplar otros materiales estructurales.

El programa Autodesk Robot ofrece distintos tipos de análisis de estructuras tales como estático lineal, no lineal, pandeo global o análisis sísmico y detalla los resultados obtenidos en el cálculo tanto de forma gráfica como tabular. (Academia INGNova, 2016)

##### 4.1.2. ANSYS (versión demo)

Este programa solventa la necesidad de hacer análisis numéricos en problemas de geometrías complejas de un mallado muy fino que permita

estudiar de manera detallada ciertas regiones de gran interés. También se ha logrado hacer simulaciones casi reales que representan situaciones que se presentarían en una prueba en el laboratorio, lo anterior ayuda a ahorrar recursos económicos y tiempo, generando así resultados muy cercanos a los reales. (SEGERLIND, 1984)

Es un programa que da solución a procesos implícitos, es decir, resuelve sistemas estáticos/cuasi estáticos (fuerzas aplicadas en grandes lapsos de tiempo) en los que el sistema se comporta de forma lineal. Se resuelve en una sola iteración, definida a partir de intervalos grandes de tiempo, ya que la solución converge fácilmente mostrando una gran estabilidad. De manera que utiliza pocos recursos computacionales. (GARCIA, 2009)

#### **4.1.3. LS- DYNA**

Resuelve procesos explícitos, es decir, problemas dinámicos en los que se producen problemas de impactos, de contactos entre superficies, grandes deformaciones y múltiples no linealidades. Como la solución explícita depende del tiempo (el tiempo total del transcurso del proceso se divide en intervalos muy pequeños), el sistema debe resolverse completamente (campos de tensión y de deformación) para cada intervalo de tiempo hasta llegar a completar el tiempo total de la simulación. (GARCIA, 2009)

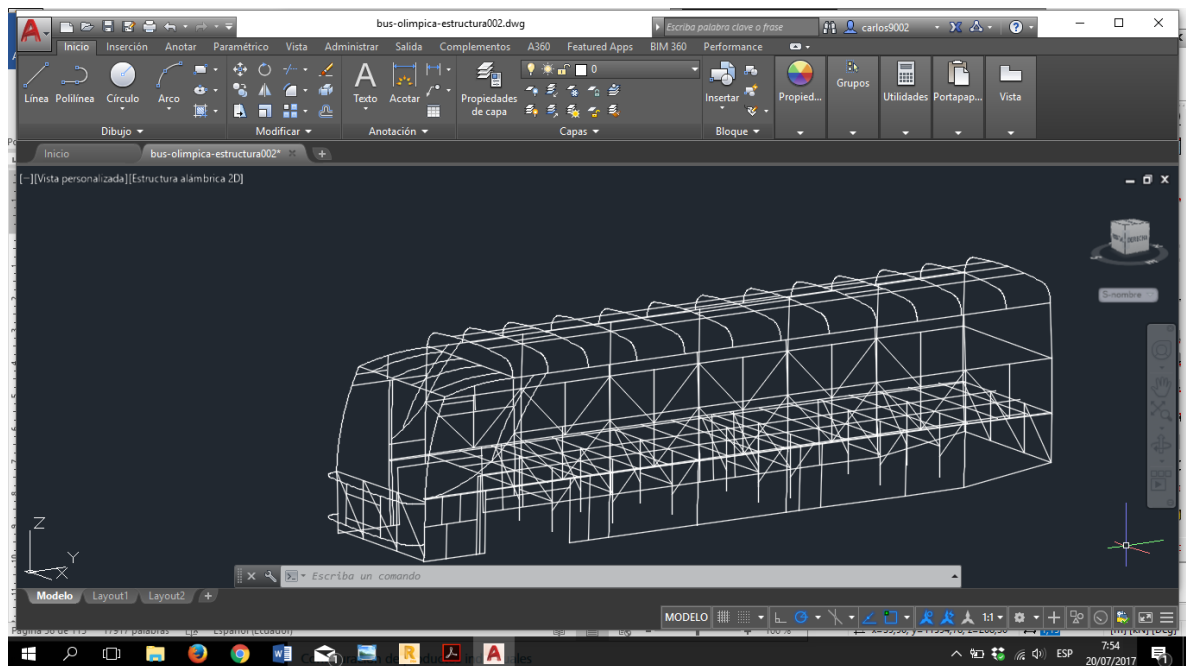
#### **4.2. Análisis estático**

Con el análisis estático de la estructura se pretende conocer la deformación máxima y determinar si cumple con los requisitos establecidos en la normativa ecuatoriana.

A continuación, se describe el procedimiento del pre-proceso del análisis estático.

### 4.2.1. Modelado de la geometría

Se construye la estructura de la carrocería de forma alámbrica en tres dimensiones con la ayuda de herramientas 3D del software de modelado AutoCad 2017. Es necesaria la construcción la estructura de esta manera por la conveniencia de aplicación en el software estructural Autodesk Robot Structural Analysis Professional versión demo.



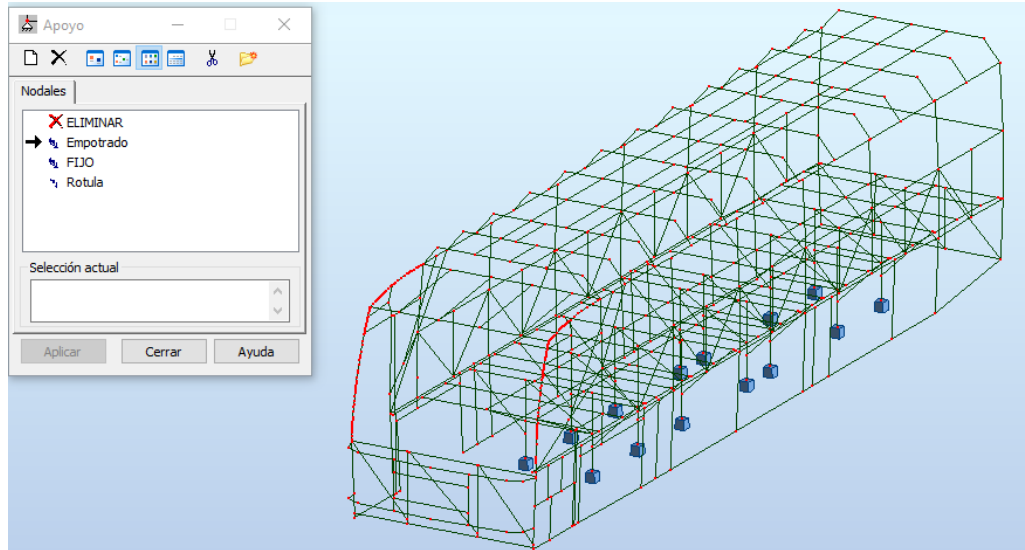
**Figura 53 Modelado en forma alámbrica de la estructura**

Luego de que se haya verificado que el dibujo no tenga errores se procede a guardar el documento para posteriormente ser importado en el software de análisis estático

### 4.2.2. Asignación de apoyos

La aplicación de apoyos o restricciones se las realiza en nodos, y para ello se tomó en cuenta los nodos que representan las juntas de unión entre el chasis y la carrocería, ya que a estos componentes se los puede

considerar como empotrados para el análisis estático. (Salazar & Yáñez, 2005)

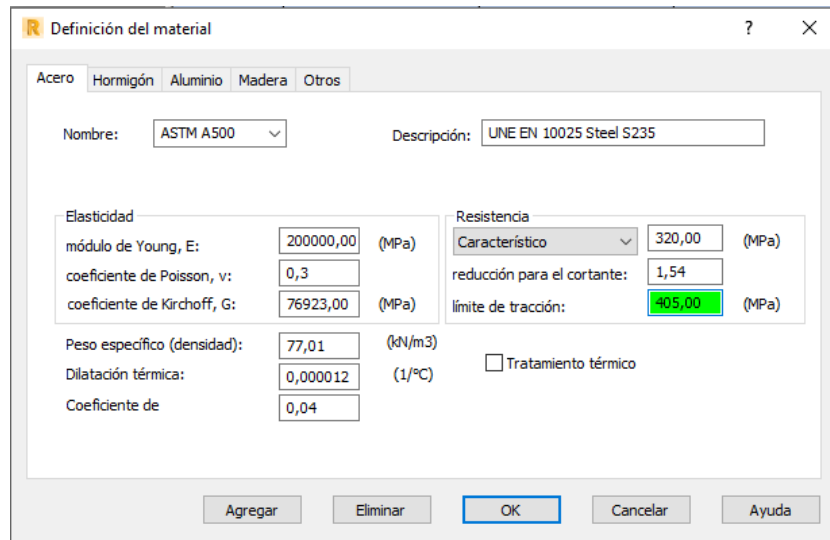


**Figura 54 Asignación de apoyos a los elementos estructurales**

#### **4.2.3. Asignación de materiales y perfiles estructurales**

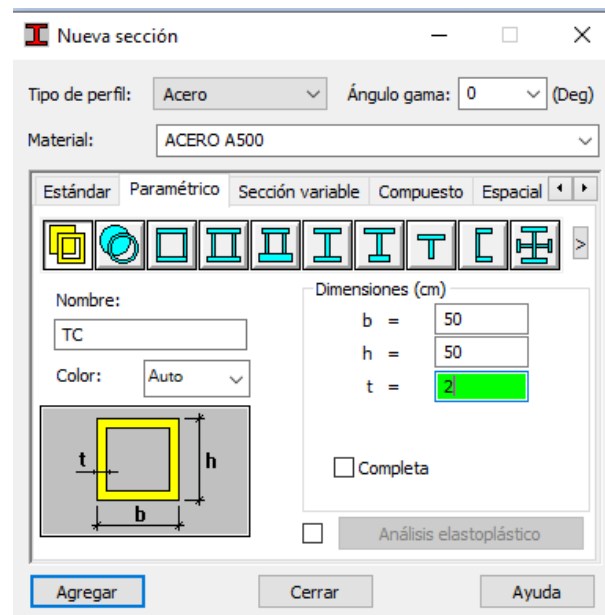
Previo al desarrollo del análisis se debe configurar el material a utilizar ingresando las propiedades físicas y químicas del acero ASTM A500, ya que en la librería del software no se encuentra disponible.

Para poder configurar el material se debe dirigir a la opción *herramientas*, luego se elige *preferencias para el proyecto*, a continuación, *materiales* y finalmente *modificar*



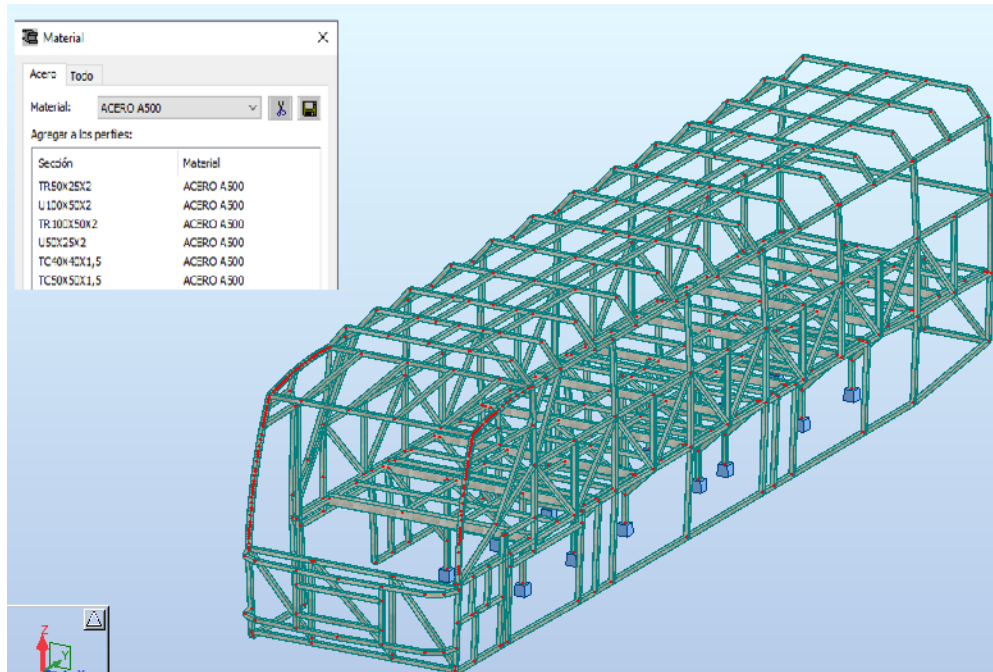
**Figura 55 Configuración del material en Robot Structural**

De igual manera para editar los perfiles estructurales necesarios para el estudio, se ingresa al menú estructura, a continuación, se elige la opción propiedades, y finalmente en sección.



**Figura 56 Configuración de los perfiles empleados**

Luego que se hayan ingresado los perfiles estructurales necesarios se asigna a cada elemento de la estructura el perfil correspondiente

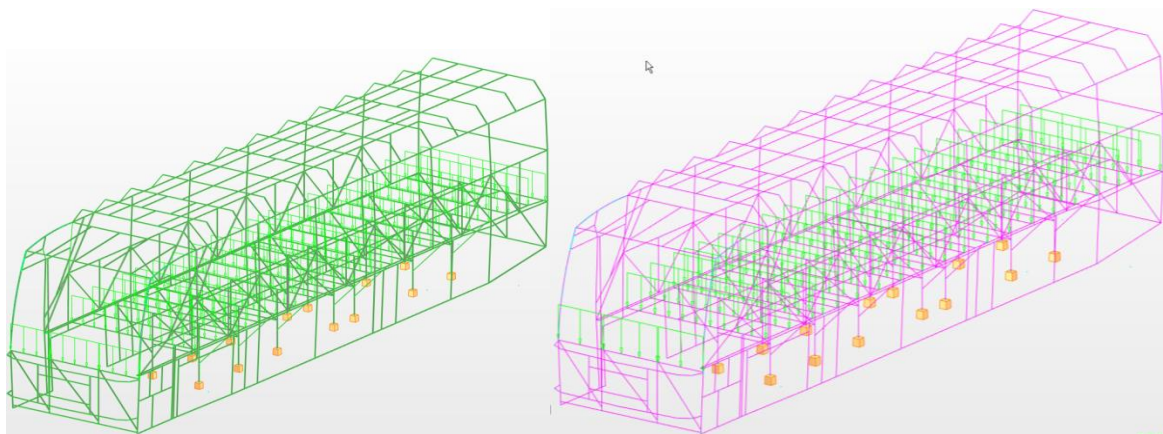


**Figura 57 Asignación de perfiles estructurales en el modelado**

#### **4.2.4. Asignación de cargas**

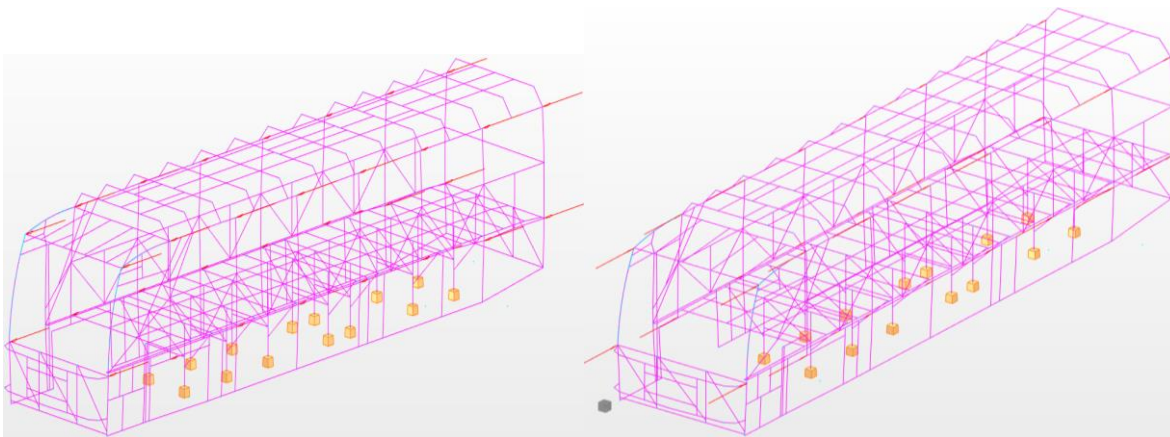
Se aplican las cargas calculadas previamente que se encuentran en la tabla 8 de acuerdo a la norma NTE INEN 1323:2009. Además, dicha norma establece que las cargas estáticas se encuentran uniformemente distribuidas sobre la plataforma del piso. En la figura 30 se puede observar las cargas estáticas y dinámicas aplicadas





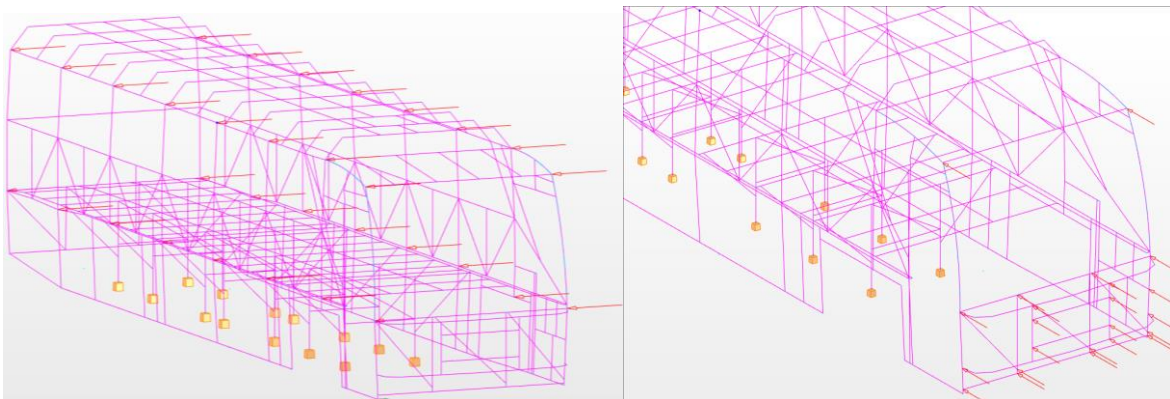
a)

b)



c)

d)



e)

f)

**Figura 58 a) Carga muerta b) carga viva c) carga de frenado d) carga de aceleración brusca e) carga de giro f) carga de resistencia al aire frontal**

Adicionalmente la norma INEN 1323:2009 establece que el techo debe resistir una carga estática, equivalente a la mitad del peso bruto vehicular para el chasis, distribuido uniformemente, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los 70mm

### **4.3. Análisis dinámico**

Desde hace algunos años, la simulación mediante ordenador se ha convertido en un medio esencial para el perfeccionamiento de la seguridad en los automóviles.

“Para ello se utilizan herramientas CAD de choques virtuales que predicen el resultado de las comprobaciones físicas antes de la prueba final del vehículo sin necesidad de costosos prototipos de fabricación”. (Gómez et al., 2009)

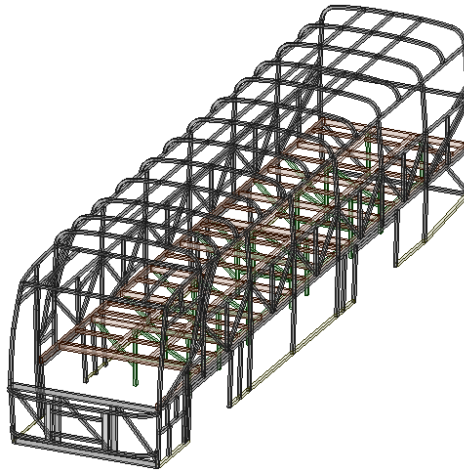
Aunque la simulación mediante computador no puede sustituir a los experimentos prácticos, las condiciones básicas para estos experimentos han evolucionado considerablemente, ya que ahora se puede trabajar con soluciones constructivas optimizadas.

En esta sección se describen los pasos del pre-proceso del análisis dinámico con la finalidad de preparar la estructura del bus para posteriormente obtener la solución y el postproceso.

#### **4.3.1. Modelado de la geometría del bus**

El modelado de la geometría de la estructura del bus se lo puede realizar en cualquier software CAD, sin embargo, en nuestro caso utilizamos el software SpaceClaim que es un complemento del ANSYS versión demo, con

la finalidad de evitar posibles fallos al momento de importar el archivo de un programa al otro.



**Figura 59 Modelado de la estructura**

Para comprobar posibles errores generados al momento de realizar el dibujo de la estructura de la carrocería como son: superposición de caras, o que los perfiles estructurales se atravesen entre sí, el mismo software de diseño posee herramientas que permitan verificar el acabado del diseño.

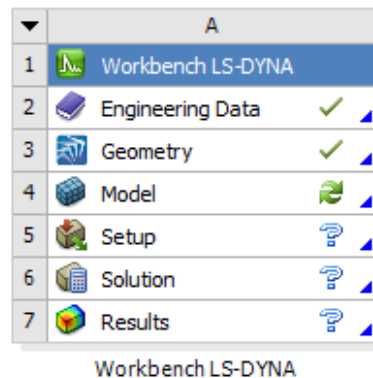
#### **4.3.2. Asignación de material**

Luego que se haya ingresado al software ANSYS versión demo y se haya seleccionado el complemento LS-DYNA se procede a configurar el material a través de la librería Engineering Data mediante el ingreso de los valores de las propiedades del acero ASTM A500 como son: módulo de elasticidad, resistencia a la fluencia, densidad, entre otros.

| Properties of Outline Row 3: ASTM A500 |                              |            |                          |
|----------------------------------------|------------------------------|------------|--------------------------|
|                                        | A                            | B          | C                        |
| 1                                      | Property                     | Value      | Unit                     |
| 2                                      | Material Field Variables     | Table      |                          |
| 3                                      | Density                      | 7850       | kg m <sup>-3</sup> ▼     |
| 4                                      | Isotropic Elasticity         |            |                          |
| 5                                      | Derive from                  | Youn... ▼  |                          |
| 6                                      | Young's Modulus              | 2E+11      | Pa ▼                     |
| 7                                      | Poisson's Ratio              | 0,3        |                          |
| 8                                      | Bulk Modulus                 | 1,6667E+11 | Pa                       |
| 9                                      | Shear Modulus                | 7,6923E+10 | Pa                       |
| 10                                     | Bilinear Isotropic Hardening |            |                          |
| 11                                     | Yield Strength               | 320        | MPa ▼                    |
| 12                                     | Tangent Modulus              | 1,45E+09   | Pa ▼                     |
| 13                                     | Specific Heat                | 434        | J kg <sup>-1</sup> ... ▼ |

**Figura 60 Configuración del acero ASTM A500 en Engineering Data**

Luego se procede a importar la geometría del modelo que será motivo de estudio, en nuestro caso buscamos el archivo guardado como Geom.scdoc

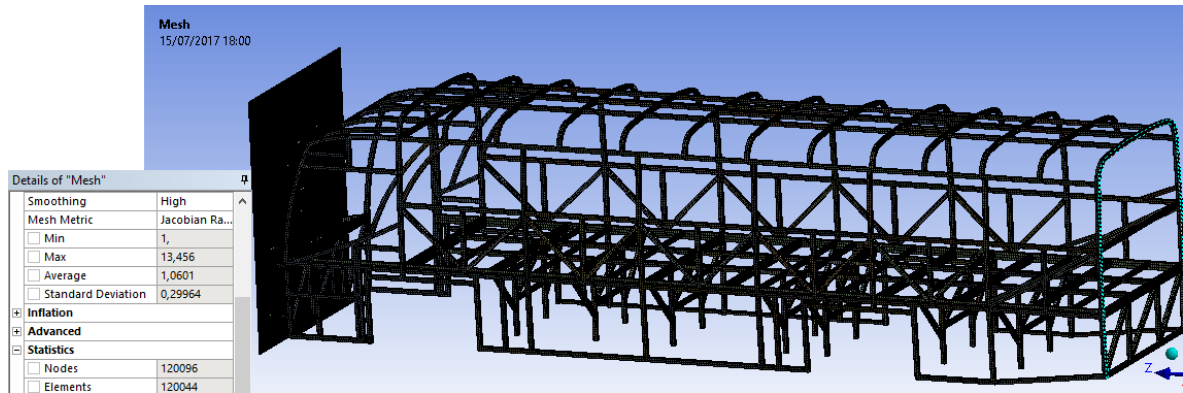


**Figura 61 Importación de la geometría en ANSYS (Versión Demo)**

#### 4.3.3. Generación de la malla

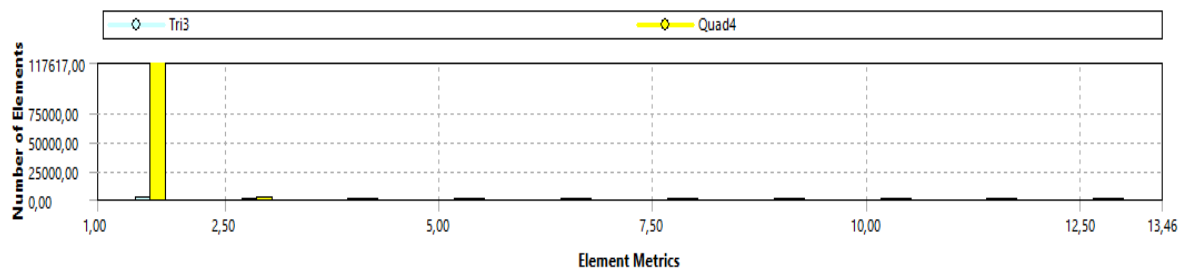
El mallado es la subdivisión de todo el modelo en elementos que convergen en puntos denominados nodos, es así como se hace posible el cálculo de ecuaciones que resuelvan los desplazamientos entre los elementos y nodos y que generen respuestas numéricas a las ecuaciones.

Una vez generada la malla se obtuvo 120096 nodos y 120044 elementos con una relación jacobiana de 1,0601



**Figura 62 Generación de la malla de la carrocería**

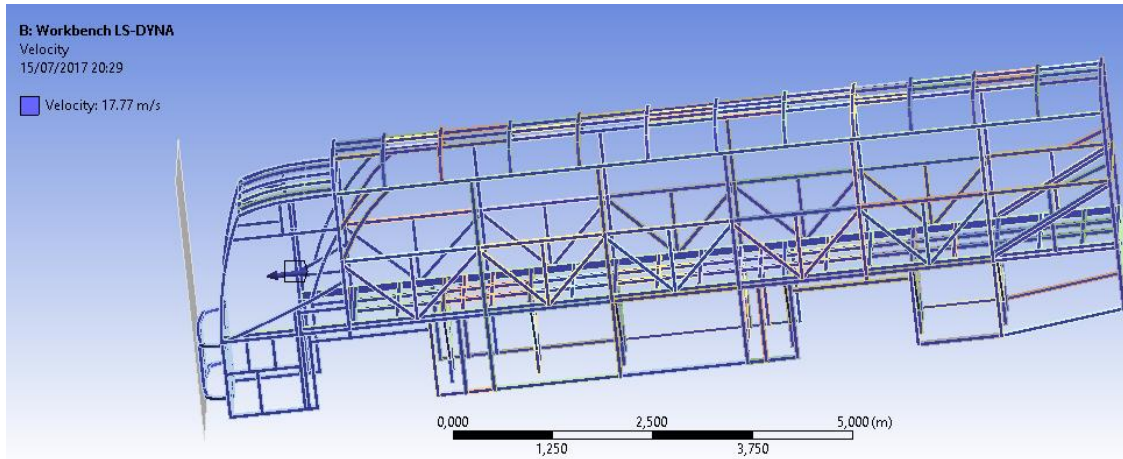
La verificación del mallado se realiza de forma estadística, por medio de la contabilización de los elementos generados según el tamaño y forma.



**Figura 63 Gráfico estadístico de acuerdo al radio Jacobiano**

#### 4.3.4. Condiciones iniciales

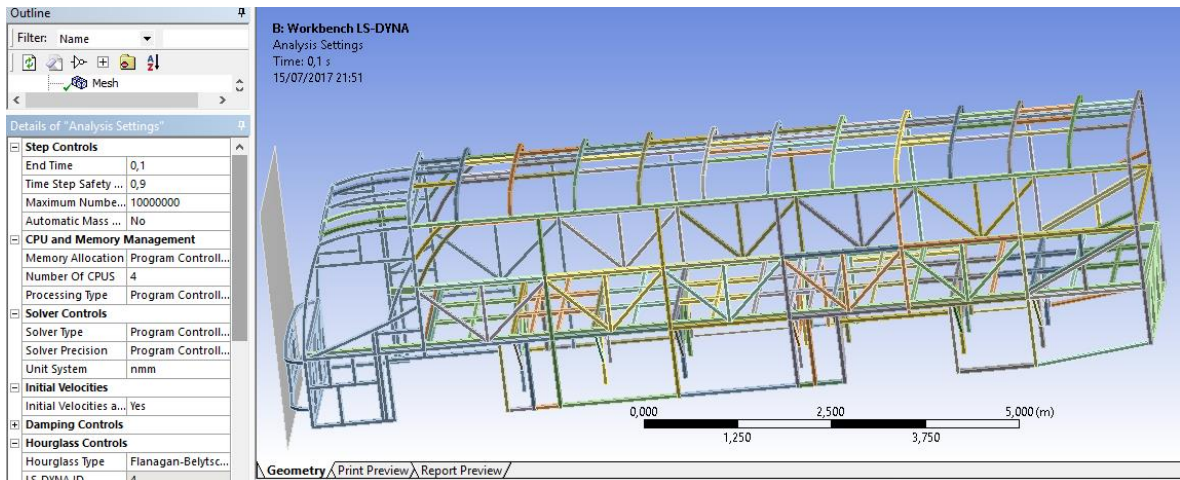
En esta sección se configura la velocidad con la que se va a realizar el ensayo, de acuerdo a la norma Euro-NCAP la prueba de impacto frontal se la realiza a una velocidad de 64 Km/h (17,77m/s). Para asignar dicha velocidad a la estructura se deben seleccionar todos los elementos que la componen.



**Figura 64 Aplicación de la velocidad de simulación de la estructura**

#### 4.3.5. Ajustes del análisis

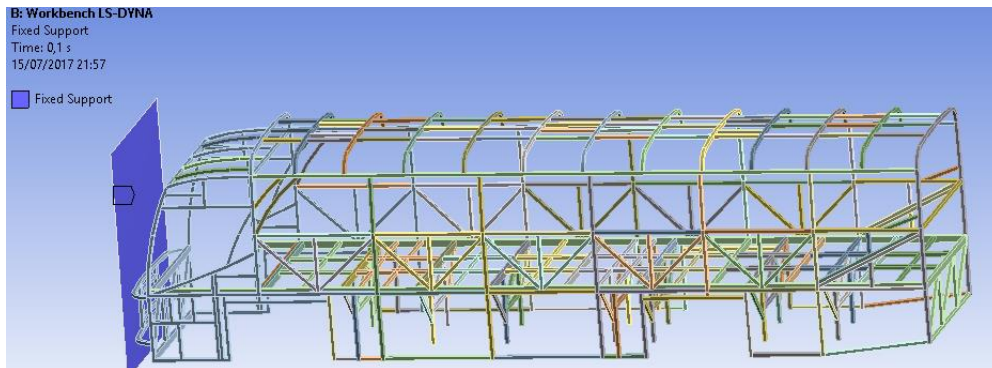
Los ajustes del análisis controlan los resultados de la simulación. El tiempo de finalización es la única entrada necesaria, de acuerdo a estudios anteriores el tiempo de finalización adecuado es de 0,1. Además se establece el número de procesadores del computador y el tipo de Hourglass (tipo de reloj de arena), en nuestro caso se seleccionó el Flanagan-Belytschko Stiffness, este es un tipo de control preestablecido por el software para evitar que se presenten energía cero o súper estructuras.



**Figura 65 Tiempo de finalización de la simulación**

#### 4.3.6. Soportes fijos

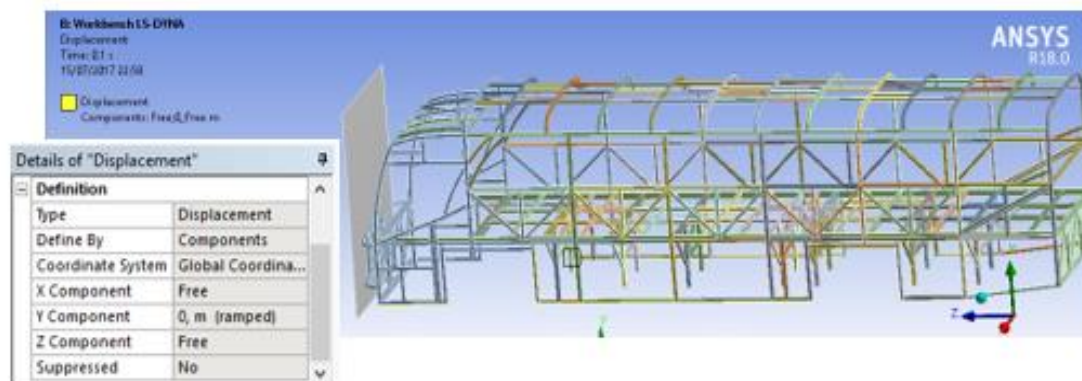
La pared se configura como una superficie rígida y fija, con el propósito de evitar que la misma sufra deformaciones, con lo cual se evita que se generen errores de información.



**Figura 66 Aplicación de soporte fijo a la pared**

#### 4.3.7. Restricciones de desplazamientos

Para la reducción del número de ecuaciones de equilibrio y de incógnitas se utiliza las condiciones de contorno, las cuales ayudan a resolver un sistema una vez sustituidos sus desplazamientos. El problema se presenta al no sustituir un número mínimo de desplazamientos obligados para impedir que la estructura se mueva como un sólido rígido. (Zienkiewicz & Taylor, 2005)



**Figura 67 Selección de los elementos con restricción de movimiento**

## CAPÍTULO V

### 5. TÚNEL DE VIENTO Y PRUEBAS AERODINÁMICAS.

#### 5.1. Túnel de viento

Los túneles de viento son dispositivos que proporcionan una corriente de aire que fluye bajo condiciones controladas para que los artículos de interés para los ingenieros puedan ser probados. Los túneles de alta velocidad, en este caso, son aquellos cuyas velocidades habituales de operación requieren la inclusión de efectos de flujo compresibles. El número Mach relaciona una velocidad dada y la velocidad del sonido lo cual permite clasificar a los túneles de viento en subsónicos, transónicos, supersónicos o hipersónicos. Un límite inferior de "alta velocidad" podría considerarse que es donde el número de Mach es de aproximadamente 0,5 (alrededor de 380 mph) para condiciones estándar del nivel del mar. (Pope, 1965).

##### 5.1.1. Túnel Subsónico

Los túneles de viento de poca velocidad se utilizan para las operaciones en bajo número de mach, con velocidades en la sección de la prueba hasta 400 Km/h (~100m/s,  $M = 0,3$ ). El aire se mueve con un sistema de la propulsión hecho de un ventilador axial que aumenta la presión dinámica con el fin de evitar las pérdidas del fluido viscoso. (Bermeo, Siguencia, & Serpa, 2012).

Para nuestro estudio se utilizará un túnel de viento subsónico ya que la velocidad que se necesita en la zona de prueba para analizar nuestros prototipos no supera los 150 Km/h.





**Figura 68 Túnel de viento subsónico**

## **5.1.2. Partes del túnel de viento**

### **5.1.2.1. Panal de direccionamiento**

El propósito del panal es enderezar la circulación del aire. La estructura del panal es muy eficaz en la reducción de corrientes que remolinan en la circulación de aire dentro del túnel.

### **5.1.2.2. Cono de contracción**

Es el encargado de reducir el volumen de aire que ingresa a baja velocidad, para que en la sección de prueba el aire aumente a la velocidad requerida.

### **5.1.2.3. Sección de prueba**

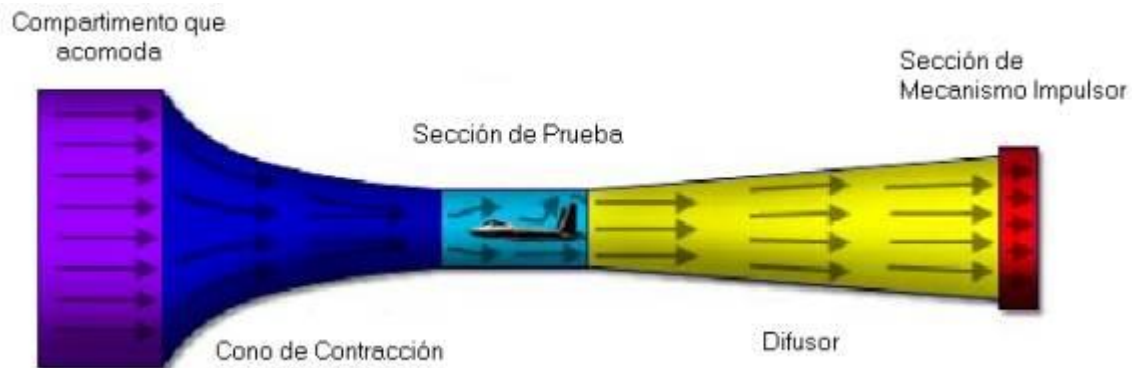
En la sección de la prueba es donde se coloca el prototipo y los sensores que obtendrán los datos de presiones y velocidades

#### 5.1.2.4. Difusor

El difusor retarda la velocidad de circulación del aire en el túnel de viento para que al momento de ser expulsado del túnel no genere demasiado ruido.

#### 5.1.2.5. Sección del mecanismo impulsor

En la sección del mecanismo impulsor va colocado un ventilador que será el encargado de aspirar el aire dentro del túnel de viento.



**Figura 69 Partes del túnel de viento**

**Fuente:** (Marín, 2009)

## 5.2. Dispositivos electrónicos

Para el proceso de adquisición de datos es necesaria la utilización de sensores que midan la presión del viento que se genera en la zona de prueba, es por ello que la electrónica juega un papel importante en la obtención de valores que nos permitirá medir, procesar y visualizar las señales generadas en el túnel de viento

### 5.2.1. Sensor de presión MPX10DP

Es el elemento que permite transformar la presión generada por el aire es decir una señal física en una señal eléctrica para que pueda utilizarse dicha señal en la tarjeta de adquisición de datos

El diseño utiliza un sensor de presión de la marca Motorola, Modelo MPX10DP que permite medición de presión diferencial hasta 10 KPa adecuándose a los límites de la presión ya que las presiones que se medirán no sobrepasan los 2 KPa. (Inteligencia artificial, 2014). Ver Anexo B



**Figura 70 Sensor de presión MPX 10DP**

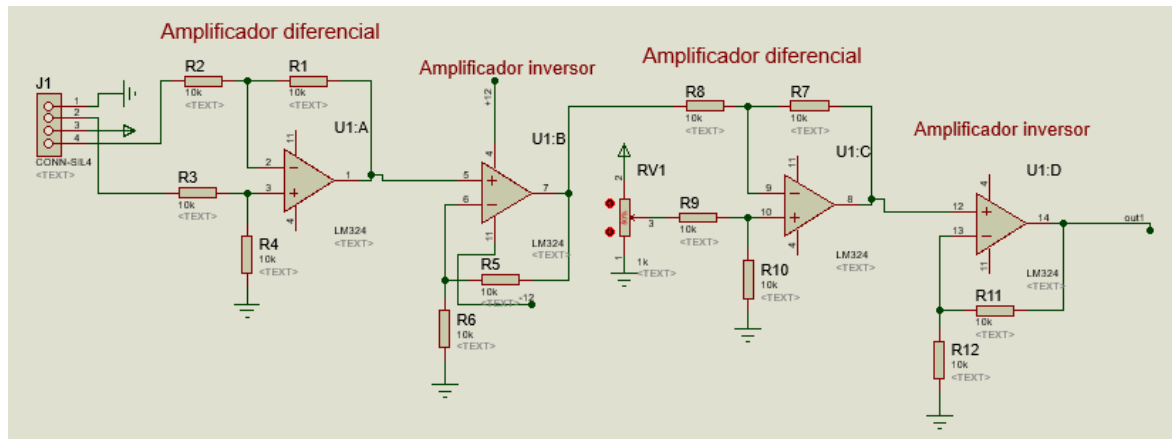
**Fuente:** (Electrotekmega, 2014)

### 5.2.2. Diseño de la placa

Debido a que la señal obtenida por el sensor de presión se encuentra en el rango de los milisegundos y como la tarjeta de adquisición de datos necesita señales de entrada en el rango de voltios es necesario realizar un acondicionamiento de la señal obtenida por el sensor.

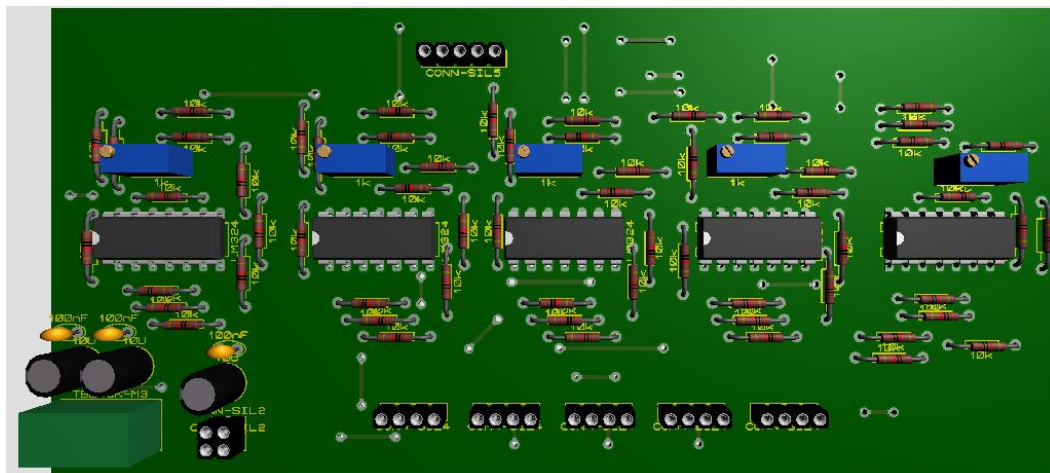
Para lograr la ganancia requerida se utilizan los circuitos de amplificación en sus diferentes formas, en nuestro caso utilizaremos el amplificador inversor y el amplificador diferencial.

A continuación, se muestra el diseño del circuito realizado en el software Proteus 8 Professional para un solo sensor ya que para el resto de los sensores es exactamente el mismo circuito. Ver anexo C



**Figura 71 Diseño del circuito acondicionador de señal**

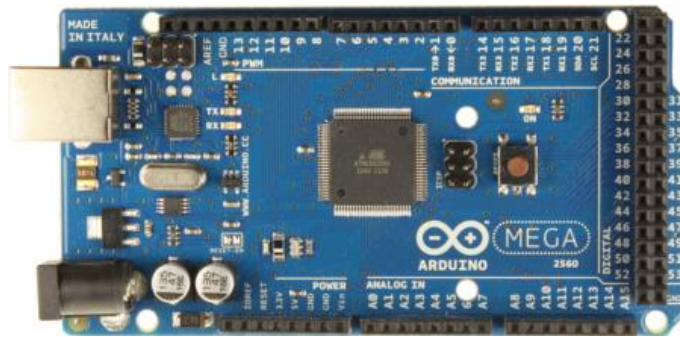
Luego que se haya verificado el funcionamiento del circuito de acondicionamiento se procede a exportar el diseño realizado para posteriormente quemar la placa. El software Proteus permite tener una vista previa de la placa como se ve en la figura 51



**Figura 72 Vista previa del circuito realizado**

### 5.2.3. Arduino Mega

Para poder llevar a cabo la interfaz entre el software para el procesamiento y monitoreo de la señal es necesario hacer uso de una tarjeta de adquisición de datos, para lo cual y de acuerdo a las necesidades fue posible el uso de Arduino Mega, el cual cuenta con las especificaciones necesarias tanto de velocidad de muestreo como de resolución requeridas para la adecuación de la señal. (Tena, Ramírez, & Garibaldi, 2016)



**Figura 73 Tarjeta de adquisición de datos Arduino**

### 5.2.4. Software Labview (Versión Demo)

Mediante el uso del software se genera la interfaz entre los datos obtenidos por los sensores y que permitan al usuario visualizar e interpretar dichos valores obtenidos en la zona de prueba del túnel de viento.

Ver Anexo D

Labview es una famosa plataforma de desarrollo virtual para instrumentos. Comparando con el lenguaje de programación tradicional C, Fortran utilizado en la plataforma de desarrollo de instrumentos virtuales, Labview es muy sencillo y flexible, lo que es fácil de entender. Los usuarios pueden dedicar más tiempo no a la programación sino al analizar y tratar los datos. La programación gráfica se utiliza en Labview, y su

interfaz es muy amigable, que se puede ver directamente, por lo que Labview es muy adecuado para la adquisición de datos. (GUAN, ZHANG, & WANG, 2004)

### 5.3. Pruebas aerodinámicas en el software

#### 5.3.1. Modelado del autobús

Mediante la utilización de las diferentes herramientas que posee el software SOLIDWORKS se dibujó y modeló la carrocería del bus de acuerdo a las medidas facilitadas por el fabricante para posteriormente ser analizado aerodinámicamente y obtener los siguientes parámetros de estudio.

- Conocer las características aerodinámicas del modelo original de la carrocería y evaluar su eficiencia
- Proponer mejoras mediante el diseño de nuevos perfiles aerodinámicos
- Calcular los coeficientes de arrastre y sustentación
- Visualizar las zonas donde se genera mayor turbulencia
- Estimar la potencia necesaria que necesita el autobús para vencer la resistencia al arrastre.



**Figura 74 Modelado del autobús**

### 5.3.2. Parámetros de diseño

Para el presente estudio se ha tomado en cuenta tres parámetros de estudio con los cuales el software de dinámica de fluidos computacional va a calcular los diferentes parámetros aerodinámicos de la carrocería en su modelo original, entre las variables de interés tenemos las siguientes:

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

Para realizar dichos cálculos el software requiere de diferentes datos iniciales como son velocidad del fluido, densidad, temperatura, cuyos valores se detallan a continuación:

- Temperatura ambiente del aire en la sierra = 15 [°C]
- Presión atmosférica = 101325 [Pa]
- Densidad del aire = 1.225 [Kg/m<sup>3</sup>]
- Viscosidad dinámica = 1.3604x10<sup>-5</sup> [Pa\*s]
- Velocidad promedio del autobús = 25 [m/s]
- Área Transversal del vehículo perpendicular al movimiento del aire = 8.743 [m<sup>2</sup>]

En el apartado de condiciones iniciales del dominio computacional en nuestro estudio se establecieron los siguientes límites.

**Tabla 11**  
**Tamaño del dominio computacional**

|              |           |
|--------------|-----------|
| <b>X min</b> | -33.779 m |
| <b>X max</b> | -1.715 m  |
| <b>Y min</b> | 93.400 m  |
| <b>Y max</b> | 101.783 m |
| <b>Z min</b> | -61.051 m |
| <b>Z max</b> | -50.681 m |

En parámetros globales para nuestro objeto de estudio se insertaron los siguientes elementos:

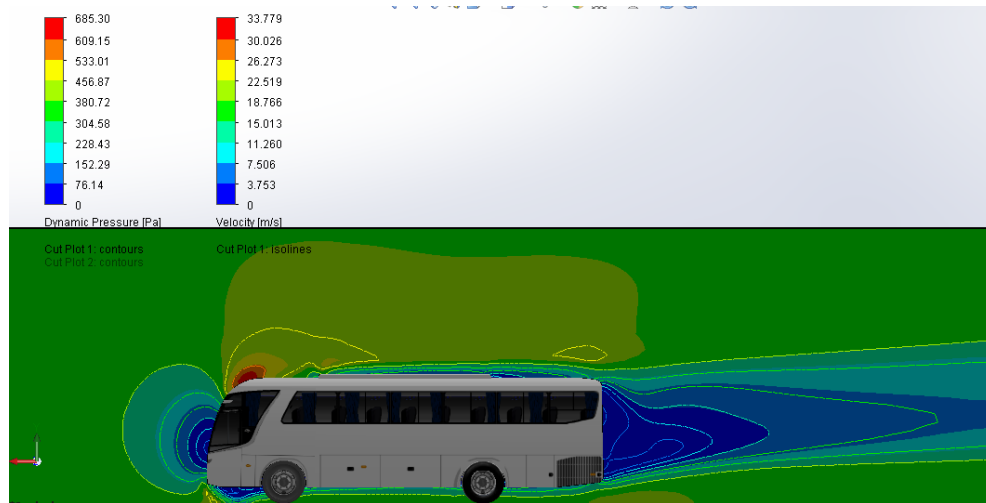
- Densidad del fluido
- Velocidad
- Fuerza en X (Fuerza de arrastre)
- Fuerza en Z (Fuerza de sustentación)
- Número de Reynolds

### 5.3.3. Resultados obtenidos

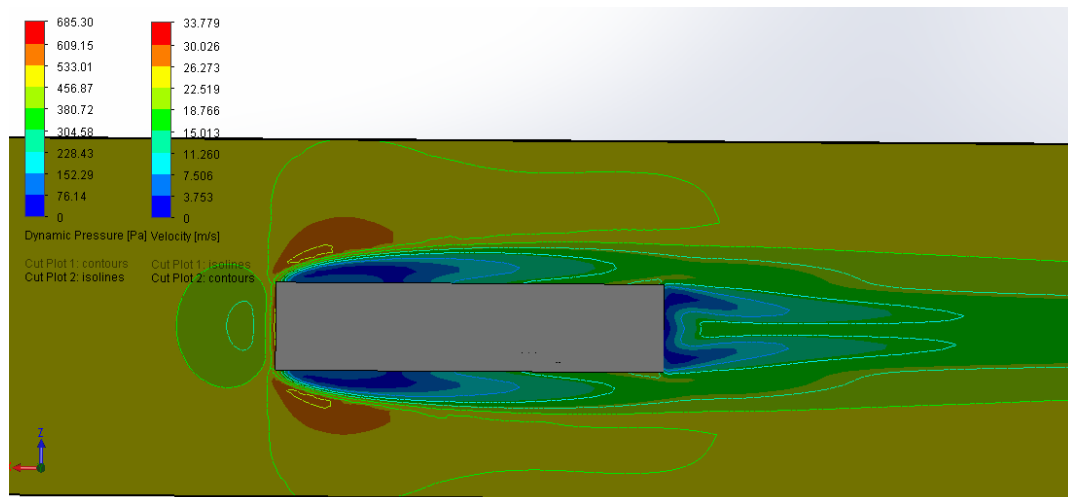
Las siguientes imágenes muestran los resultados en forma gráfica mediante distintos tonos de colores y en una escala numérica de las condiciones analizadas por el software como presión dinámica, presión total, velocidad, turbulencia y el comportamiento del fluido.

La presión dinámica se define como la presión ocasionada por un fluido en movimiento que incide sobre la normal a una superficie, es por eso que el fluido al chocar con la superficie del cuerpo la presión tiende a ser cero con lo cual la velocidad en dicho punto también será cero.



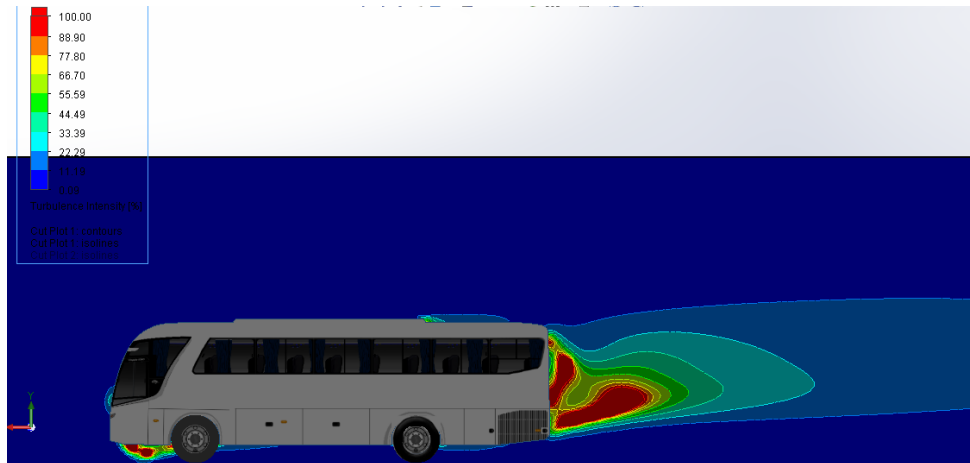


**Figura 75 Presión dinámica vista lateral**

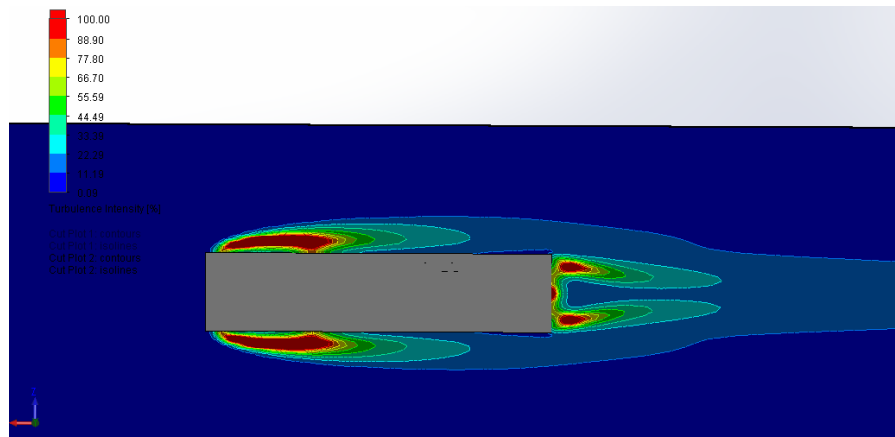


**Figura 76 Presión dinámica vista superior**

Las turbulencias se originan por las variaciones de presión y velocidad que se generan en el contorno de las superficies con mayor irregularidad ocasionando que el flujo de aire sea caótico en la parte del aire acondicionado (figura 77). Por otro lado, la turbulencia que se genera en la parte inferior del autobús se debe a las partes mecánicas que se encuentran en este lugar como son los ejes de las ruedas, transmisión y diferencial.



**Figura 77 Turbulencia vista lateral**



**Figura 78 Turbulencia vista superior**

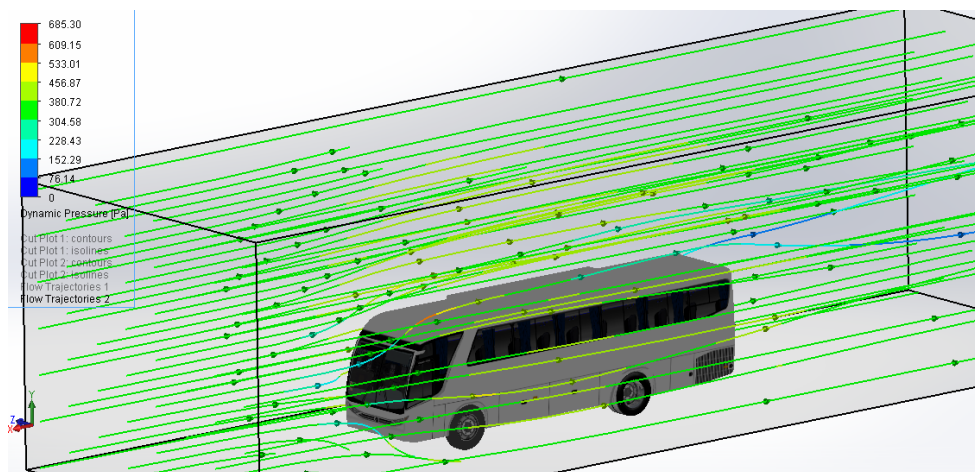
Como se observa en la figura 79 la superficie frontal del bus es la zona en la cual se ejerce mayor presión ya que tiende a ser perpendicular a la trayectoria del aire, lo cual genera un incremento en la resistencia al avance por lo que se necesita una más potencia para vencer dicha resistencia.



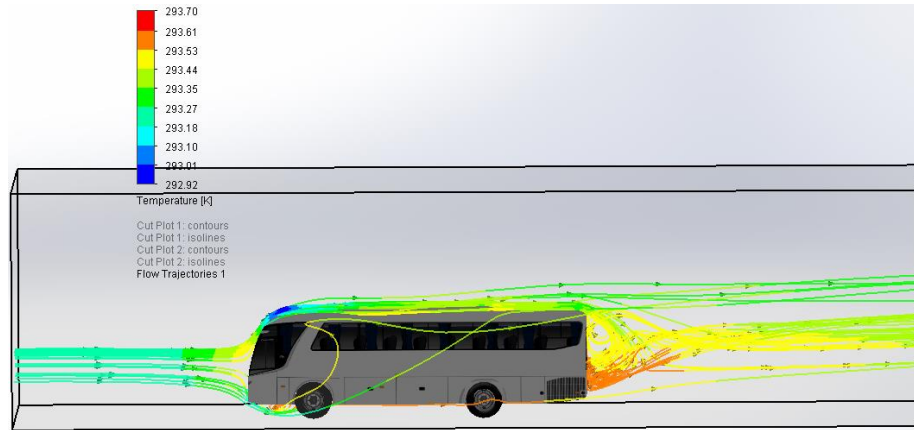
**Figura 79 Presión vista lateral**

Como se puede apreciar en la figura 80 la trayectoria del aire se distribuye por los alrededores del autobús conforme el aire se acerca al parabrisas haciendo que las líneas de corriente tengan un flujo discontinuo.

En la parte trasera del bus el flujo del aire es turbulento ya que las líneas del flujo no tienen una trayectoria uniforme como se puede apreciar en la figura 81.



**Figura 80 Trayectoria del fluido en el modelo original**



**Figura 81 Vista de la turbulenta en la parte posterior**

A continuación, se muestra en la tabla los valores generados por estudio del software y que nos permiten establecer un criterio de la aerodinámica actual de la carrocería.

**Tabla 12**  
**Valores finales del cálculo del modelo original**

| Variables                                | Unidades | Valores     | Valor promedio | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------------------------------------|----------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| <b>Fuerza de arrastre (Fx)</b>           | [N]      | 2043,260381 | 2006,443634    | 1975,251827  | 2059,453623  |
| <b>Fuerza de sustentación (Fz)</b>       | [N]      | 866,0453682 | 869,8626747    | 826,2409041  | 905,0256673  |
| <b>Número de Reynolds (RE)</b>           |          | 6402946,806 | 6403115,424    | 6402683,953  | 6403522,123  |
| <b>Coefficiente de arrastre (Cx)</b>     |          | 0,621331276 | 0,610135922    | 0,600651612  | 0,62625527   |
| <b>Coefficiente de sustentación (Cz)</b> |          | 0,263354136 | 0,264515016    | 0,251250179  | 0,275207635  |
| <b>Potencia (Pot)</b>                    | [W]      | 51081,50954 | 50161,09085    | 49381,29568  | 51486,34058  |

## 5.4. Primera propuesta del bus con dos alerones

Luego de realizar un análisis de los resultados del modelo original se consideró los lugares donde se generan mayor turbulencia o caídas de presión, para establecer propuestas que ayuden a mejorar el flujo del aire y así disminuir la resistencia al avance con lo que nos conlleva a disminuir el consumo de combustible.

Se diseñaron dos alerones para direccionar la circulación del aire, el primero va montado delante del sistema de aire acondicionado con la finalidad de que el aire pase sobre el sistema y así evitar que choque directamente con el mismo. El segundo alerón va en la parte posterior del bus, ya que en dicho lugar se genera la mayor cantidad de turbulencia.

### 5.4.1. Resultados obtenidos

Con la implementación del alerón delantero se ha logrado incrementar la presión en la parte superior del bus, motivo por el cual se incrementa la fuerza de sustentación negativa. El incremento de la sustentación negativa ayuda a que el bus tenga mayor estabilidad. Ver figura 82

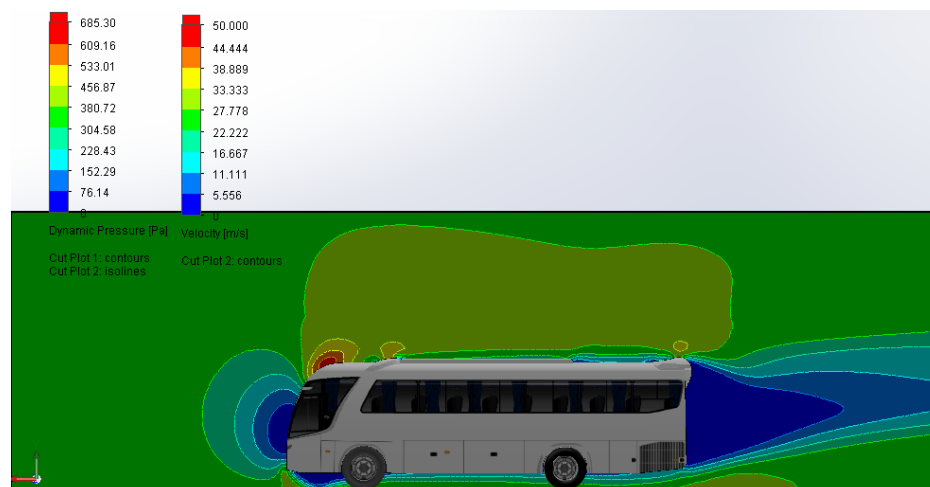
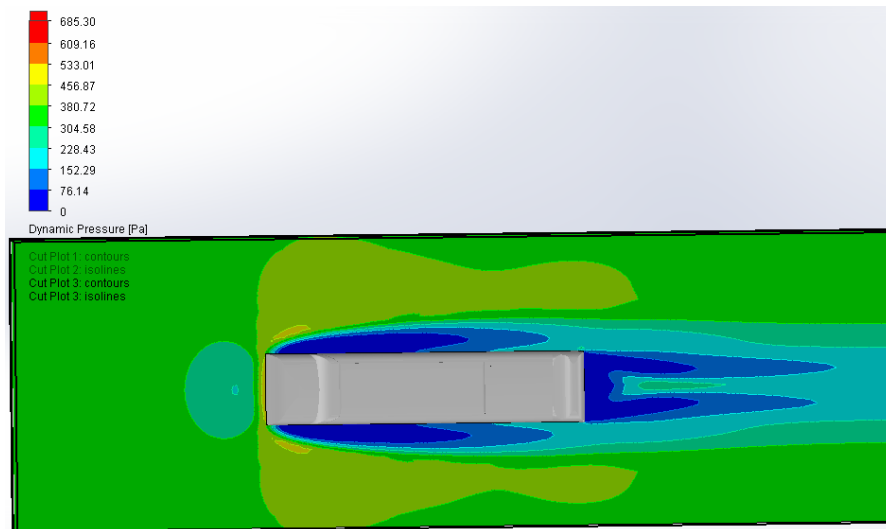


Figura 82 Presión dinámica vista lateral bus con dos alerones

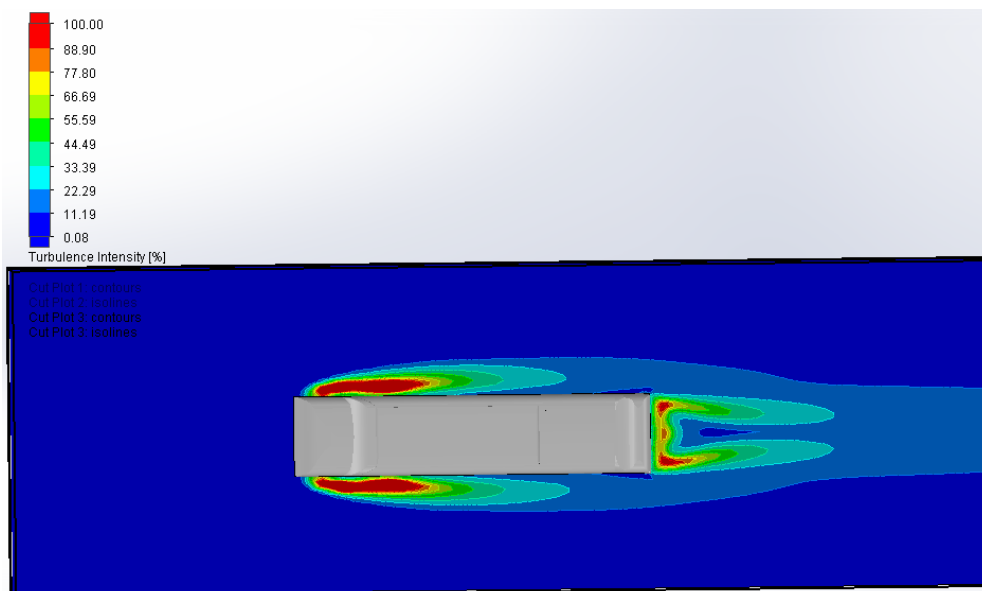


**Figura 83 Presión dinámica vista superior bus con dos alerones**

Además, con la implementación del alerón delantero se disminuyó notablemente la turbulencia en la parte superior del bus, así como también en la parte posterior se logró mejorar el direccionamiento del aire en comparación con el modelo original. Ver figura 84



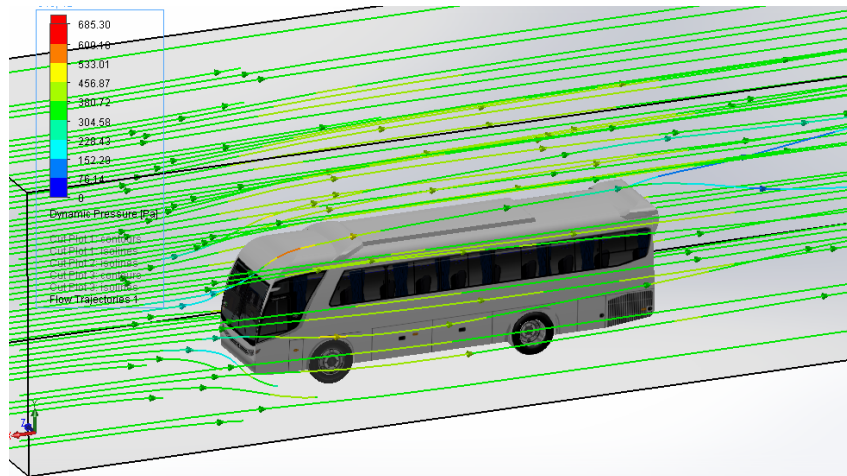
**Figura 84 Turbulencia vista lateral bus con dos alerones**



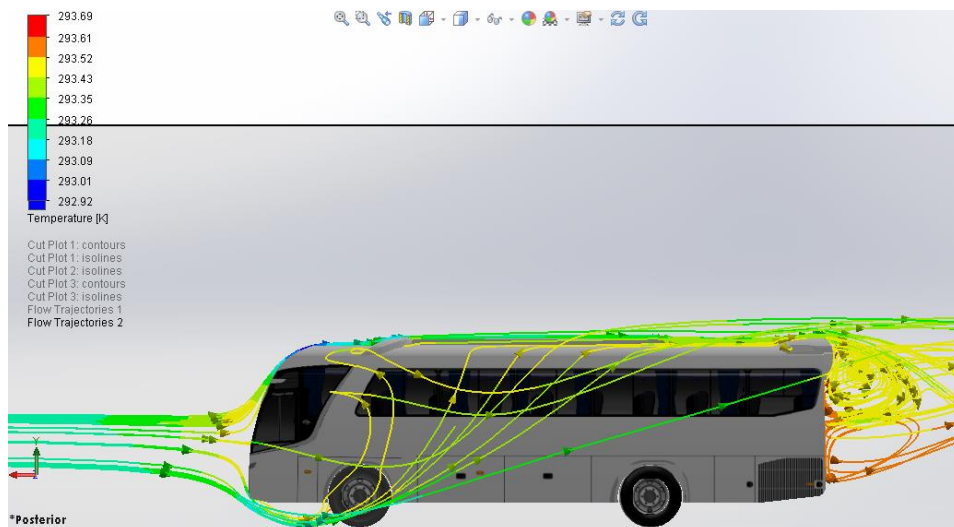
**Figura 85** Turbulencia vista superior bus con dos alerones



**Figura 86** Presión vista lateral bus con dos alerones



**Figura 87** Trayectoria del aire vista lateral bus con dos alerones



**Figura 88** Flujo en forma turbulenta del bus con dos alerones

**Tabla 13**  
Resumen de resultados bus con dos alerones

| Variable                           | Unidad | Valor       | Valor promedio | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------------------------------|--------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| <b>Fuerza de arrastre (Fx)</b>     | [N]    | 2103,397504 | 2103,505258    | 2099,193122  | 2110,303413  |
| <b>Fuerza de sustentación (Fz)</b> | [N]    | 994,8635736 | 991,5950154    | 983,1724695  | 996,6119556  |
| <b>Número de Reynolds (RE)</b>     |        | 6402195,956 | 6400665,233    | 6397272,624  | 6402195,956  |

CONTINÚA



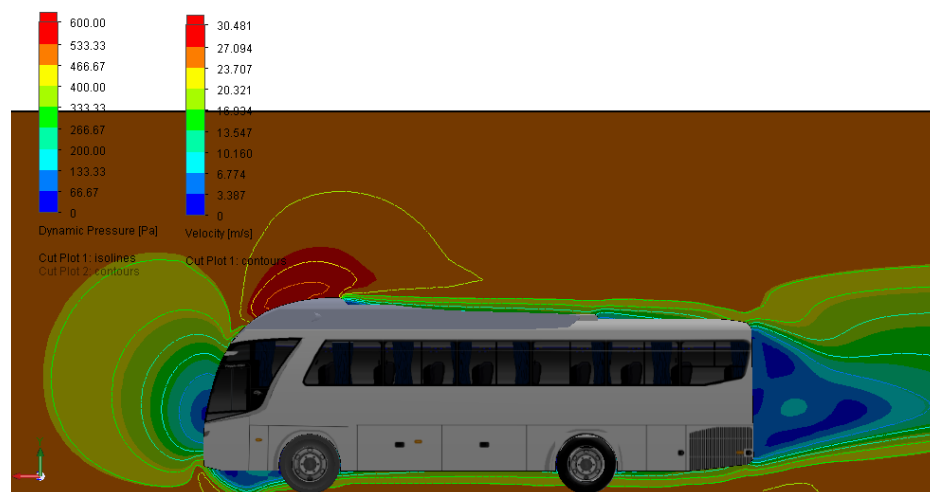
|                                          |     |             |             |             |             |
|------------------------------------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Coefficiente de arrastre (Cx)</b>     |     | 0,639618997 | 0,639651952 | 0,638340884 | 0,641720183 |
| <b>Coefficiente de sustentación (Cz)</b> |     | 0,302526574 | 0,301532731 | 0,298971805 | 0,303058793 |
| <b>Potencia (Pot)</b>                    | [W] | 52584,9376  | 52587,63145 | 52479,82806 | 52757,58533 |

## 5.5. Segunda propuesta bus con deflector delantero

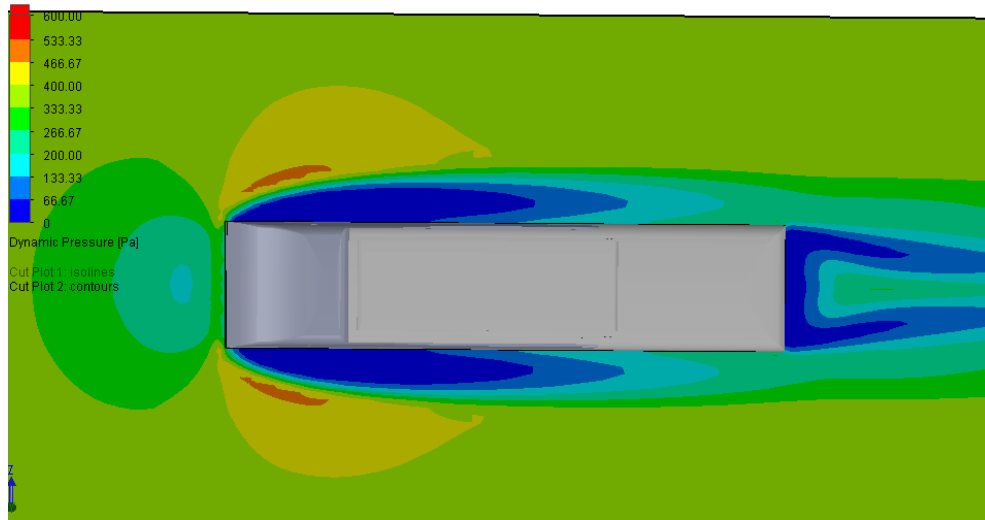
Para la segunda propuesta se diseñó un deflector de aire que va sobre el bus en la parte delantera y que cuyo objetivo será dirigir el flujo del aire para que pase sobre el sistema de aire acondicionado evitando que se generen gradientes de presión alrededor de dicho sistema.

Como se puede observar en la figura el aire ya no tiene tanta incidencia en los alrededores del sistema de aire acondicionado haciendo que el flujo sea homogéneo en la parte superior del bus.

### 5.5.1. Resultados obtenidos

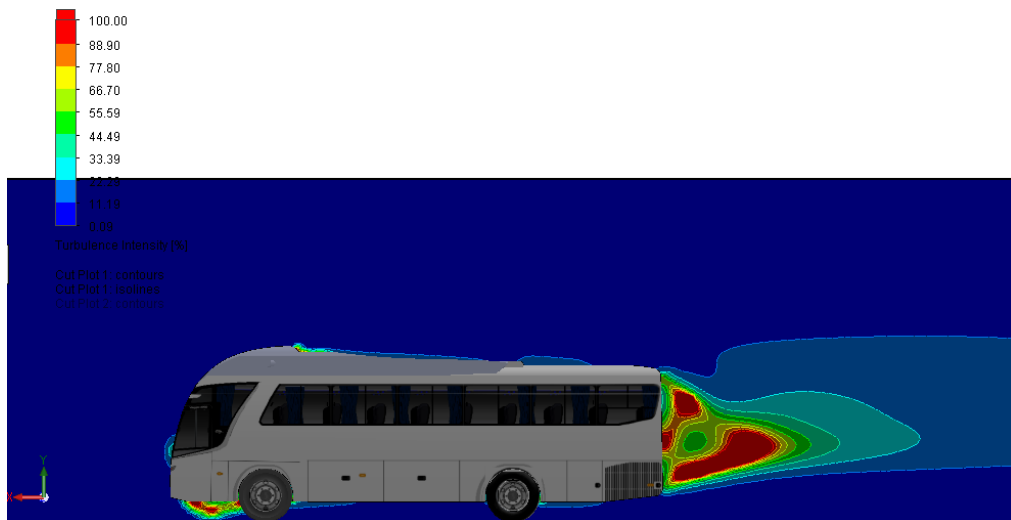


**Figura 89 Presión dinámica vista lateral bus con deflector**

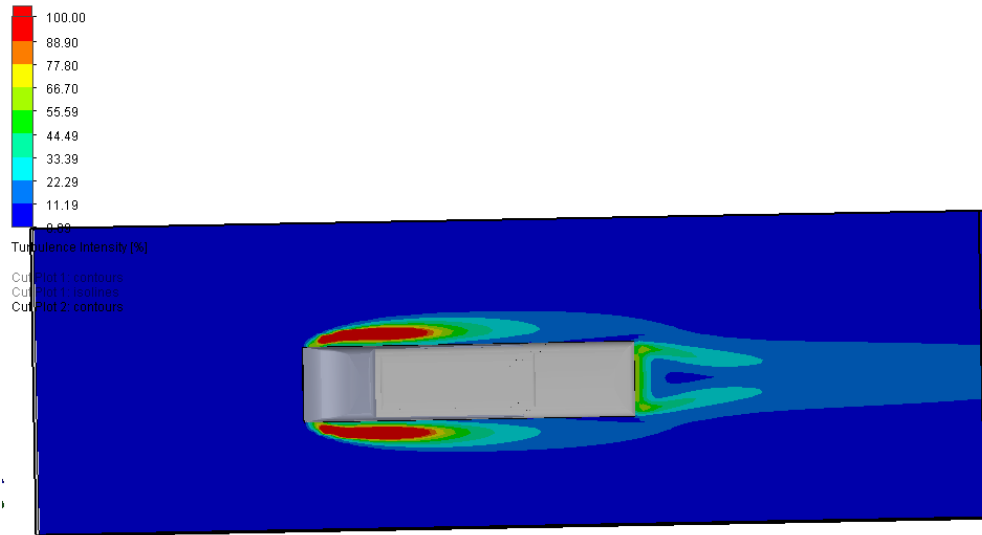


**Figura 90 Presión dinámica vista superior bus con deflector**

En la figura 91 se puede observar que hay una región mínima en la parte del deflector en la que se genera turbulencia debido a la geometría del mismo, pero es evidente que el deflector ayuda a que el aire tenga un flujo laminar sobre la superficie del bus, en cambio en la parte posterior el comportamiento del aire vuelve a ser turbulento como el modelo original.



**Figura 91 Turbulencia vista lateral bus con deflector**

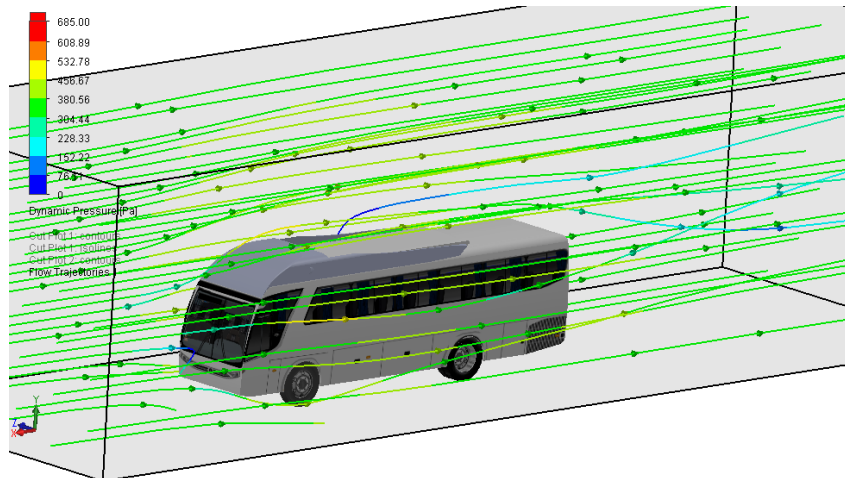


**Figura 92 Turbulencia vista superior bus con deflector**

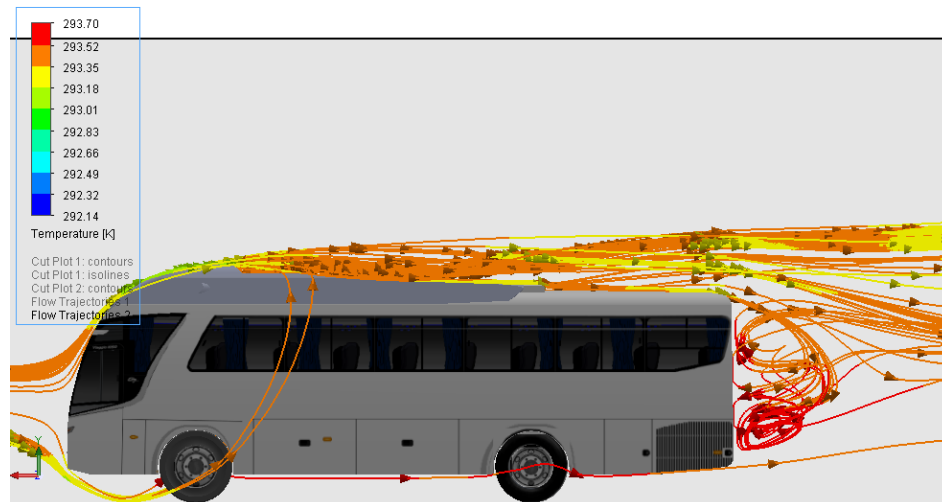


**Figura 93 Presión vista lateral bus con deflector**

En la figura 94 se puede observar que la trayectoria del fluido es uniforme evitando que se generen remolinos en los alrededores del bus haciendo que esta propuesta tenga una buena eficiencia aerodinámica



**Figura 94 Trayectoria del aire vista lateral bus con deflector**



**Figura 95 Flujo en forma turbulenta del bus con deflector**

**Tabla 14 Resultados generados por el software bus con deflector delantero**

| Variables                          | Unidades | Valores     | Valor promedio | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------------------------------|----------|-------------|----------------|--------------|--------------|
| <b>Fuerza de arrastre (Fx)</b>     | [N]      | 2258,818039 | 2256,888173    | 2247,994704  | 2259,860921  |
| <b>Fuerza de sustentación (Fz)</b> | [N]      | 998,6015103 | 997,6192573    | 992,3615559  | 999,4828573  |

CONTINUA

|                                         |     |             |             |             |             |
|-----------------------------------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Número de Reynolds (RE)</b>          |     | 6388272,803 | 6387933,909 | 6386907,889 | 6388272,803 |
| <b>Coeficiente de arrastre (Cx)</b>     |     | 0,69668833  | 0,68629641  | 0,683592359 | 0,687200427 |
| <b>Coeficiente de sustentación (Cz)</b> |     | 0,303664434 | 0,303365724 | 0,301766929 | 0,303932446 |
| <b>Potencia (Pot)</b>                   | [W] | 56470,45098 | 56422,20433 | 56199,86761 | 56496,52302 |

## 5.6. Procedimiento de pruebas aerodinámicas en el túnel de viento

- Preparar el equipo, verificar conexiones de tubos de cobre con los sensores, verificar conexiones de los cables de alimentación de los sensores.
- Conectar los cables de alimentación de la placa, +5V, +12V, -12V y GND.
- Conectar el cable USB del Arduino Mega 2500 a la computadora.
- Conectar el cable de alimentación del motor trifásico a 220V.
- Abrir la ventana de interface de LABVIEW Instruments.
- Asegurarse que los sensores se encuentren fijos en su posición adecuada
- Encender el motor mediante el interruptor en posición ON.
- Correr el programa en la computadora por medio de la tecla RUN de la interface de LABVIEW Instruments.
- Generar las tablas en Excel provenientes de los datos obtenidos de cada sensor.
- Obtener tablas y datos de cada uno de los sensores para su posterior análisis.

## 5.7. Pruebas aerodinámicas en el túnel de viento

### 5.7.1. Análisis bus Original



Figura 96 Ubicación y distancia de los sensores en el Bus, vista lateral

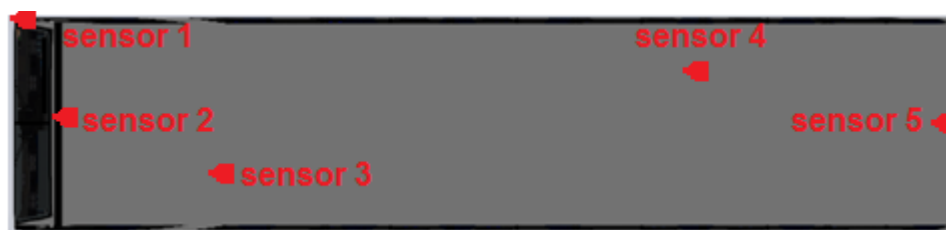


Figura 97 Ubicación de los sensores en el Bus, vista superior

Mediante el diagrama de BoxPlot se analizará los valores obtenidos en las pruebas del túnel de viento determinando los valores reales y los valores atípicos para su respectivo análisis, mediante el siguiente proceso:

- Determinar el límite inferior y superior en los cuales deberían variar los datos de cada uno de los sensores.
- Determinar los tres cuartiles de los datos, Q1 (cuartil 1) es la mediana de la primera mitad de los datos, Q2 (cuartil 2) es la mediana de todos los datos y Q3 (cuartil 3) es la mediana de la segunda mitad de los datos.
- Construir el diagrama a partir de los valores obtenidos y separando así los datos atípicos de los datos reales a ser analizados.

## Análisis de los valores del Sensor 1 en el Bus sin Alerones

Tabla 15

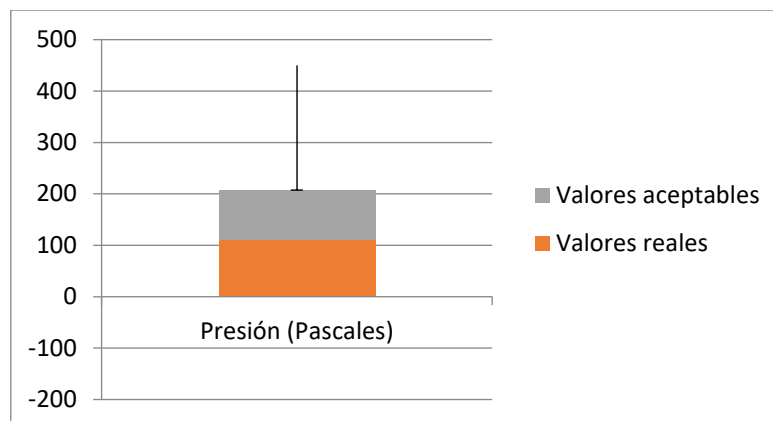
## Valores sensor 1 en prueba aerodinámica Bus sin alerones

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 1                 | 195,02              | 26                | 164,64              | 51                | 191,1               | 76                | 425,81              |
| 2                 | 0                   | 27                | 213,15              | 52                | 318,01              | 77                | 134,26              |
| 3                 | 237,16              | 28                | 63,7                | 53                | 440,51              | 78                | 268,03              |
| 4                 | 29,4                | 29                | 172,48              | 54                | 135,24              | 79                | 217,56              |
| 5                 | 3,92                | 30                | 165,13              | 55                | 333,69              | 80                | 0                   |
| 6                 | 256,27              | 31                | 420,91              | 56                | 35,28               | 81                | 288,12              |
| 7                 | 221,97              | 32                | 501,27              | 57                | 296,45              | 82                | 166,6               |
| 8                 | 82,32               | 33                | 215,11              | 58                | 429,73              | 83                | 292,53              |
| 9                 | 335,65              | 34                | 470,4               | 59                | 0                   | 84                | 210,21              |
| 10                | 149,45              | 35                | 131,32              | 60                | 121,03              | 85                | 143,08              |
| 11                | 109,76              | 36                | 293,51              | 61                | 0                   | 86                | 411,6               |
| 12                | 305,76              | 37                | 66,64               | 62                | 247,94              | 87                | 226,38              |
| 13                | 374,36              | 38                | 36,26               | 63                | 0                   | 88                | 372,89              |
| 14                | 427,28              | 39                | 428,75              | 64                | 70,07               | 89                | 110,74              |
| 15                | 432,18              | 40                | 361,13              | 65                | 160,72              | 90                | 52,92               |
| 16                | 326,34              | 41                | 132,79              | 66                | 393,47              | 91                | 284,69              |
| 17                | 284,2               | 42                | 450,31              | 67                | 209,23              | 92                | 444,43              |
| 18                | 0                   | 43                | 199,43              | 68                | 110,25              | 93                | 403,76              |
| 19                | 350,35              | 44                | 185,22              | 69                | 147,49              | 94                | 71,05               |
| 20                | 413,07              | 45                | 354,27              | 70                | 403,76              | 95                | 141,12              |
| 21                | 72,52               | 46                | 128,38              | 71                | 52,92               | 96                | 0                   |
| 22                | 78,4                | 47                | 98                  | 72                | 158,27              | 97                | 172,97              |
| 23                | 118,58              | 48                | 151,9               | 73                | 293,02              | 98                | 205,8               |
| 24                | 501,27              | 49                | 392,98              | 74                | 456,19              | 99                | 279,3               |
| 25                | 263,13              | 50                | 52,92               | 75                | 0                   | 100               | 501,27              |

Tabla 16

## Valores reales sensor 1 con análisis del diagrama BoxPlot

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|
| 2                 | 0                   |
| 18                | 0                   |
| 59                | 0                   |
| 5                 | 3,92                |
| 4                 | 29,4                |
| 56                | 35,28               |
| 38                | 36,26               |
| 71                | 52,92               |
| 90                | 52,92               |
| 28                | 63,7                |



**Figura 98 Diagrama BoxPlot sensor 1 en el diseño sin alerones**

En la figura 75 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 0 a 76 Pascales, mientras que en la figura 98 y la tabla 16 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 0 a 63,7 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 2 en el Bus sin Alerones

**Tabla 17**

**Valores sensor 2 en prueba aerodinámica Bus sin alerones**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 605,787            | 26                | 267,54             | 51                | 164,983            | 76                | 565,656            |
| 2                 | 457,366            | 27                | 0                  | 52                | 651,651            | 77                | 115,934            |
| 3                 | 379,015            | 28                | 158,613            | 53                | 518,518            | 78                | 362,453            |
| 4                 | 552,279            | 29                | 561,197            | 54                | 623,623            | 79                | 0                  |
| 5                 | 0                  | 30                | 0                  | 55                | 41,405             | 80                | 519,155            |
| 6                 | 0                  | 31                | 456,092            | 56                | 518,518            | 81                | 651,651            |
| 7                 | 168,168            | 32                | 451,633            | 57                | 375,193            | 82                | 586,677            |
| 8                 | 0                  | 33                | 431,249            | 58                | 225,498            | 83                | 651,651            |
| 9                 | 118,482            | 34                | 29,302             | 59                | 356,72             | 84                | 269,451            |
| 10                | 164,346            | 35                | 242,06             | 60                | 112,749            | 85                | 252,252            |
| 11                | 0                  | 36                | 0                  | 61                | 454,181            | 86                | 487,942            |
| 12                | 610,246            | 37                | 443,989            | 62                | 114,023            | 87                | 3,185              |
| 13                | 218,491            | 38                | 78,351             | 63                | 506,415            | 88                | 651,651            |
| 14                | 622,349            | 39                | 0                  | 64                | 480,935            | 89                | 387,933            |
| 15                | 456,092            | 40                | 137,592            | 65                | 238,238            | 90                | 225,498            |

CONTINUA

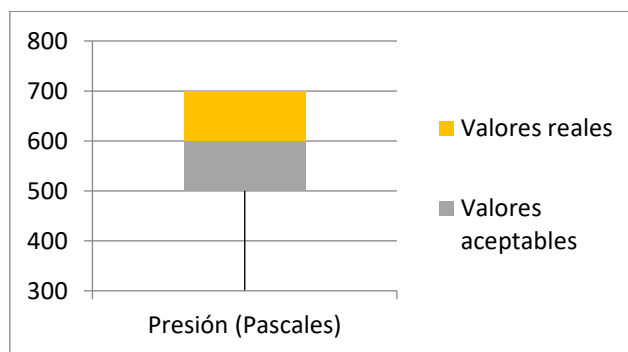




|    |         |    |         |    |         |     |         |
|----|---------|----|---------|----|---------|-----|---------|
| 16 | 52,871  | 41 | 324,233 | 66 | 277,095 | 91  | 435,071 |
| 17 | 364,364 | 42 | 407,68  | 67 | 2,548   | 92  | 0       |
| 18 | 249,067 | 43 | 294,931 | 68 | 114,023 | 93  | 537,628 |
| 19 | 299,39  | 44 | 48,412  | 69 | 536,991 | 94  | 321,685 |
| 20 | 267,54  | 45 | 297,479 | 70 | 70,07   | 95  | 343,343 |
| 21 | 138,229 | 46 | 384,111 | 71 | 9,555   | 96  | 12,74   |
| 22 | 569,478 | 47 | 559,923 | 72 | 480,935 | 97  | 300,664 |
| 23 | 130,585 | 48 | 54,782  | 73 | 371,371 | 98  | 109,564 |
| 24 | 131,222 | 49 | 505,778 | 74 | 19,747  | 99  | 524,888 |
| 25 | 349,713 | 50 | 152,88  | 75 | 459,277 | 100 | 489,853 |

**Tabla 18**  
**Valores reales sensor 2 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|
| 47                | 559,923             |
| 29                | 561,197             |
| 76                | 565,656             |
| 22                | 569,478             |
| 82                | 586,677             |
| 1                 | 605,787             |
| 12                | 610,246             |
| 14                | 622,349             |
| 54                | 623,623             |
| 88                | 651,651             |



**Figura 99 Diagrama BoxPlot sensor 2 en el diseño sin alerones**

En la figura 75 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 600 a 685 Pascales, mientras que en la figura 99 y la tabla 18 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 559,23 a 651,651 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

## Análisis de los valores del Sensor 3 en el Bus sin Alerones

Tabla 19

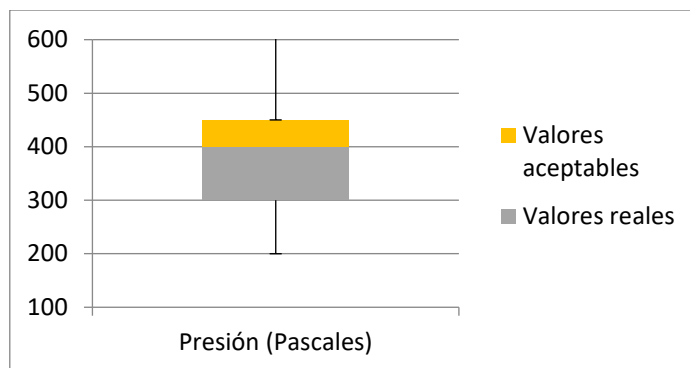
## Valores sensor 3 en prueba aerodinámica Bus sin alerones

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 317,152            | 26                | 63,5775            | 51                | 85,26              | 76                | 134,873            |
| 2                 | 303,555            | 27                | 86,3625            | 52                | 49,6125            | 77                | 92,9775            |
| 3                 | 302,82             | 28                | 130,463            | 53                | 0                  | 78                | 185,955            |
| 4                 | 149,572            | 29                | 335,527            | 54                | 242,55             | 79                | 0                  |
| 5                 | 312,375            | 30                | 0                  | 55                | 264,967            | 80                | 308,332            |
| 6                 | 130,83             | 31                | 145,53             | 56                | 135,608            | 81                | 0                  |
| 7                 | 275,993            | 32                | 0                  | 57                | 111,352            | 82                | 357,577            |
| 8                 | 356,108            | 33                | 281,505            | 58                | 0                  | 83                | 262,395            |
| 9                 | 263,13             | 34                | 123,112            | 59                | 0                  | 84                | 44,4675            |
| 10                | 168,315            | 35                | 163,905            | 60                | 0                  | 85                | 316,05             |
| 11                | 160,965            | 36                | 353,903            | 61                | 64,3125            | 86                | 0                  |
| 12                | 110,985            | 37                | 225,277            | 62                | 120,172            | 87                | 319,357            |
| 13                | 302,82             | 38                | 296,572            | 63                | 294,368            | 88                | 348,757            |
| 14                | 160,965            | 39                | 265,335            | 64                | 56,9625            | 89                | 80,115             |
| 15                | 375,952            | 40                | 0                  | 65                | 84,1575            | 90                | 256,882            |
| 16                | 84,8925            | 41                | 65,0475            | 66                | 321,562            | 91                | 5,88               |
| 17                | 11,025             | 42                | 81,585             | 67                | 210,578            | 92                | 184,117            |
| 18                | 79,38              | 43                | 129,727            | 68                | 309,067            | 93                | 182,28             |
| 19                | 174,195            | 44                | 325,238            | 69                | 130,463            | 94                | 263,13             |
| 20                | 55,4925            | 45                | 279,3              | 70                | 86,3625            | 95                | 125,318            |
| 21                | 200,655            | 46                | 98,8575            | 71                | 274,522            | 96                | 117,6              |
| 22                | 147,735            | 47                | 36,75              | 72                | 341,775            | 97                | 2,94               |
| 23                | 271,215            | 48                | 214,987            | 73                | 294,368            | 98                | 244,755            |
| 24                | 298,043            | 49                | 300,248            | 74                | 275,257            | 99                | 54,7575            |
| 25                | 216,825            | 50                | 67,62              | 75                | 292,162            | 100               | 22,785             |

Tabla 20

## Valores reales sensor 3 con análisis del diagrama BoxPlot

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 87                | 319,357            |
| 66                | 321,562            |
| 44                | 325,238            |
| 29                | 335,527            |
| 72                | 341,775            |
| 88                | 348,757            |
| 36                | 353,903            |
| 8                 | 356,108            |
| 82                | 357,577            |
| 15                | 375,952            |



**Figura 100 Diagrama BoxPlot sensor 3 en el diseño sin alerones**

En la figura 75 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 300 a 380 Pascales, mientras que en la figura 100 y la tabla 20 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 319,357 a 375,952 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 4 en el Bus sin Alerones

**Tabla 21**

**Valores sensor 4 en prueba aerodinámica Bus sin alerones**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 38,073             | 26                | 84,231             | 51                | 45,423             | 76                | 68,943             |
| 2                 | 65,856             | 27                | 6,174              | 52                | 68,649             | 77                | 38,22              |
| 3                 | 45,129             | 28                | 80,997             | 53                | 40,278             | 78                | 43,512             |
| 4                 | 61,152             | 29                | 44,541             | 54                | 36,75              | 79                | 113,778            |
| 5                 | 119,658            | 30                | 121,128            | 55                | 87,024             | 80                | 128,184            |
| 6                 | 123,48             | 31                | 130,095            | 56                | 18,669             | 81                | 56,889             |
| 7                 | 66,003             | 32                | 119,805            | 57                | 35,133             | 82                | 67,473             |
| 8                 | 27,783             | 33                | 64,533             | 58                | 0                  | 83                | 27,636             |
| 9                 | 47,628             | 34                | 67,473             | 59                | 39,69              | 84                | 134,946            |
| 10                | 141,561            | 35                | 52,626             | 60                | 62,328             | 85                | 19,698             |
| 11                | 60,27              | 36                | 89,964             | 61                | 23,961             | 86                | 107,898            |
| 12                | 34,398             | 37                | 122,451            | 62                | 131,271            | 87                | 8,82               |
| 13                | 121,128            | 38                | 8,085              | 63                | 73,941             | 88                | 52,626             |
| 14                | 60,711             | 39                | 38,514             | 64                | 38,808             | 89                | 0                  |
| 15                | 71,442             | 40                | 85,848             | 65                | 32,34              | 90                | 100,695            |

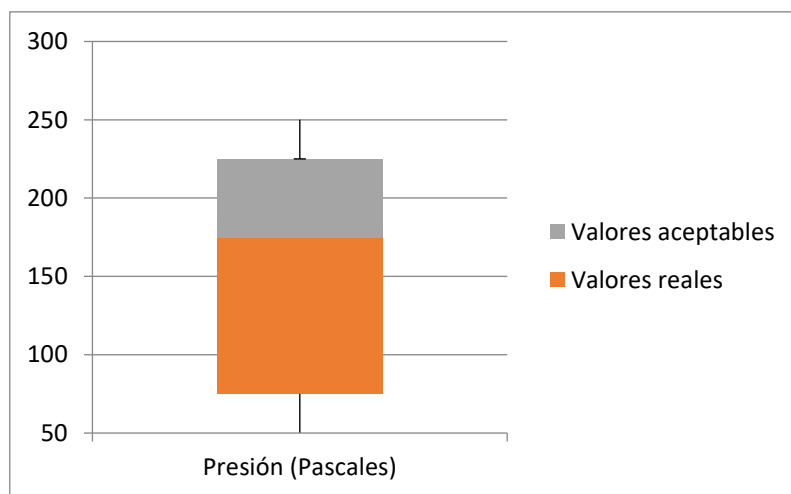
CONTINUA



|    |         |    |         |    |         |     |         |
|----|---------|----|---------|----|---------|-----|---------|
| 16 | 84,378  | 41 | 124,215 | 66 | 36,603  | 91  | 13,23   |
| 17 | 33,957  | 42 | 0       | 67 | 20,874  | 92  | 29,841  |
| 18 | 105,546 | 43 | 29,841  | 68 | 0       | 93  | 69,678  |
| 19 | 120,246 | 44 | 127,008 | 69 | 67,179  | 94  | 132,888 |
| 20 | 74,529  | 45 | 38,661  | 70 | 0       | 95  | 0       |
| 21 | 141,267 | 46 | 29,547  | 71 | 4,704   | 96  | 116,718 |
| 22 | 72,471  | 47 | 50,568  | 72 | 25,137  | 97  | 143,619 |
| 23 | 143,766 | 48 | 143,913 | 73 | 72,912  | 98  | 43,659  |
| 24 | 150,381 | 49 | 40,425  | 74 | 0       | 99  | 56,889  |
| 25 | 38,808  | 50 | 150,381 | 75 | 150,381 | 100 | 70,854  |

**Tabla 22**  
**Valores reales sensor 4 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|
| 94                | 132,888             |
| 84                | 134,946             |
| 21                | 141,267             |
| 10                | 141,561             |
| 97                | 143,619             |
| 23                | 143,766             |
| 48                | 143,913             |
| 24                | 150,381             |
| 50                | 150,381             |
| 75                | 150,381             |



**Figura 101 Diagrama BoxPlot sensor 4 en el diseño sin alerones**

En la figura 75 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 76 a 150 Pascales, mientras que en la figura 101 y la tabla 22 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación

de la presión es de un común de 132,888 a 150,381 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 5 en el Bus sin Alerones

**Tabla 23**

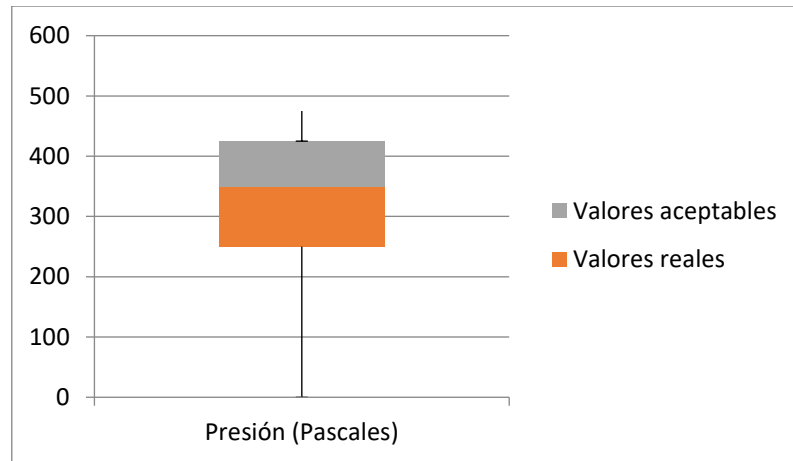
#### Valores sensor 5 en prueba aerodinámica Bus sin alerones

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 83,496             | 26                | 11,172             | 51                | 199,92             | 76                | 263,424            |
| 2                 | 113,484            | 27                | 17,052             | 52                | 234,024            | 77                | 282,828            |
| 3                 | 158,466            | 28                | 0                  | 53                | 254,016            | 78                | 156,114            |
| 4                 | 184,338            | 29                | 175,518            | 54                | 243,138            | 79                | 144,942            |
| 5                 | 0                  | 30                | 212,268            | 55                | 45,57              | 80                | 131,418            |
| 6                 | 0                  | 31                | 232,848            | 56                | 106,428            | 81                | 98,784             |
| 7                 | 39,396             | 32                | 214,326            | 57                | 184,044            | 82                | 181,692            |
| 8                 | 122,598            | 33                | 120,246            | 58                | 0                  | 83                | 101,43             |
| 9                 | 288,708            | 34                | 131,418            | 59                | 179,928            | 84                | 74,382             |
| 10                | 69,678             | 35                | 159,348            | 60                | 0                  | 85                | 63,798             |
| 11                | 0                  | 36                | 248,136            | 61                | 23,52              | 86                | 163,758            |
| 12                | 254,31             | 37                | 202,566            | 62                | 62,916             | 87                | 190,512            |
| 13                | 0                  | 38                | 0                  | 63                | 57,624             | 88                | 59,388             |
| 14                | 104,076            | 39                | 177,282            | 64                | 0                  | 89                | 0                  |
| 15                | 215,502            | 40                | 144,648            | 65                | 49,98              | 90                | 249,606            |
| 16                | 87,612             | 41                | 155,526            | 66                | 146,706            | 91                | 263,13             |
| 17                | 231,672            | 42                | 0                  | 67                | 129,948            | 92                | 159,054            |
| 18                | 69,384             | 43                | 224,91             | 68                | 185,22             | 93                | 188,16             |
| 19                | 78,204             | 44                | 224,322            | 69                | 165,522            | 94                | 0                  |
| 20                | 291,354            | 45                | 41,16              | 70                | 31,164             | 95                | 280,182            |
| 21                | 2,352              | 46                | 183,162            | 71                | 268,128            | 96                | 248,43             |
| 22                | 0                  | 47                | 238,434            | 72                | 64,386             | 97                | 238,434            |
| 23                | 0                  | 48                | 190,218            | 73                | 226,38             | 98                | 207,27             |
| 24                | 203,742            | 49                | 2,94               | 74                | 85,554             | 99                | 87,318             |
| 25                | 122,598            | 50                | 300,762            | 75                | 127,008            | 100               | 0                  |

**Tabla 24**

#### Valores reales sensor 5 con análisis del diagrama BoxPlot

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 53                | 254,016            |
| 12                | 254,31             |
| 91                | 263,13             |
| 76                | 263,424            |
| 71                | 268,128            |
| 95                | 280,182            |
| 77                | 282,828            |
| 9                 | 288,708            |
| 20                | 291,354            |
| 50                | 300,762            |



**Figura 102 Diagrama BoxPlot sensor 5 en el diseño sin alerones**

En la figura 75 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 202 a 315 Pascales, mientras que en la figura 102 y la tabla 24 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 254,016 a 300.762 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

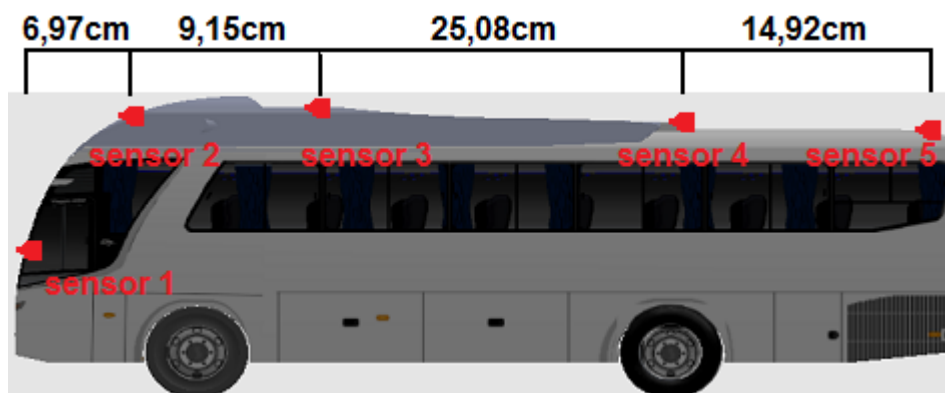


**Figura 103 Programa con valores del Bus sin alerones**

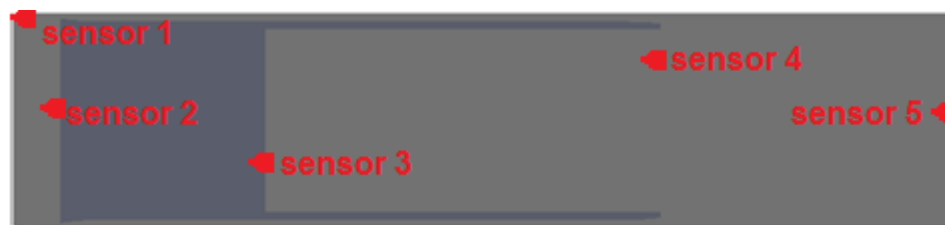
**Tabla 25**  
**Resumen valores de sensores en el Bus sin alerones**

|          | Presión (Pa) | Velocidad (m/s) |
|----------|--------------|-----------------|
| Sensor 1 | 0            | 0               |
| Sensor 2 | 651,651      | 32,62           |
| Sensor 3 | 375,952      | 24,77           |
| Sensor 4 | 150,381      | 15,67           |
| Sensor 5 | 300,762      | 22,16           |

### 5.7.2. Análisis bus con deflector delantero



**Figura 104 Ubicación y distancia de los sensores en el Bus, vista lateral**



**Figura 105 Ubicación de los sensores en el Bus, vista superior**

Mediante el diagrama de BoxPlot se analizará los valores obtenidos en las pruebas del túnel de viento determinando los valores reales y los valores atípicos para su respectivo análisis, mediante el siguiente proceso:

- Determinar el límite inferior y superior en los cuales deberían variar los datos de cada uno de los sensores.
- Determinar los tres cuartiles de los datos, Q1 (cuartil 1) es la mediana de la primera mitad de los datos, Q2 (cuartil 2) es la mediana de todos

los datos y Q3 (cuartil 3) es la mediana de la segunda mitad de los datos.

- Construir el diagrama a partir de los valores obtenidos y separando así los datos atípicos de los datos reales a ser analizados.

Análisis de los valores del Sensor 1 en el Bus con un Alerón

**Tabla 26**

**Valores sensor 1 en prueba aerodinámica Bus con un alerón**

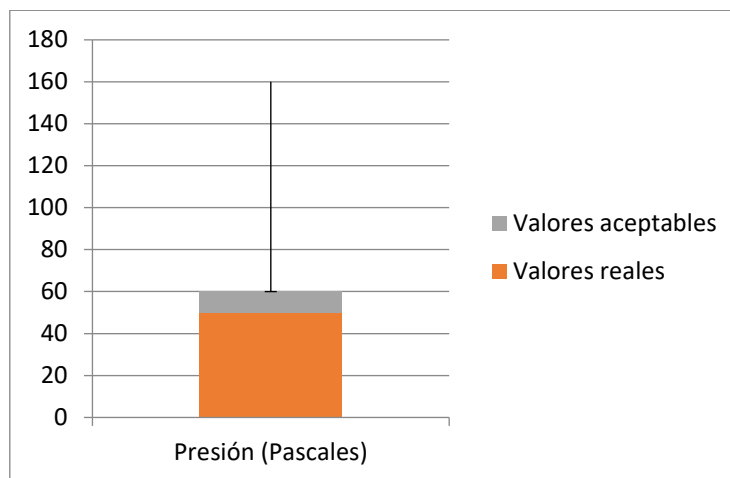
| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 228,34             | 26                | 152,39             | 51                | 447,37             | 76                | 229,32             |
| 2                 | 314,09             | 27                | 194,53             | 52                | 41,65              | 77                | 405,72             |
| 3                 | 280,28             | 28                | 501,27             | 53                | 0                  | 78                | 482,16             |
| 4                 | 209,23             | 29                | 46,55              | 54                | 327,32             | 79                | 135,24             |
| 5                 | 323,4              | 30                | 124,46             | 55                | 277,34             | 80                | 7,84               |
| 6                 | 230,79             | 31                | 252,84             | 56                | 0                  | 81                | 141,61             |
| 7                 | 303,31             | 32                | 170,03             | 57                | 252,35             | 82                | 115,15             |
| 8                 | 99,47              | 33                | 0                  | 58                | 311,64             | 83                | 244,51             |
| 9                 | 269,99             | 34                | 183,26             | 59                | 499,31             | 84                | 370,44             |
| 10                | 231,77             | 35                | 43,12              | 60                | 353,29             | 85                | 501,27             |
| 11                | 95,55              | 36                | 361,62             | 61                | 293,02             | 86                | 279,79             |
| 12                | 118,58             | 37                | 389,55             | 62                | 259,21             | 87                | 501,27             |
| 13                | 47,53              | 38                | 2,45               | 63                | 24,01              | 88                | 202,37             |
| 14                | 200,41             | 39                | 0                  | 64                | 122,99             | 89                | 0                  |
| 15                | 0                  | 40                | 69,58              | 65                | 501,27             | 90                | 32,34              |
| 16                | 159,25             | 41                | 374,36             | 66                | 302,33             | 91                | 0                  |
| 17                | 245                | 42                | 288,61             | 67                | 163,17             | 92                | 181,79             |
| 18                | 206,78             | 43                | 242,06             | 68                | 471,38             | 93                | 405,72             |
| 19                | 430,71             | 44                | 81,83              | 69                | 139,65             | 94                | 253,33             |
| 20                | 257,74             | 45                | 216,58             | 70                | 169,05             | 95                | 203,35             |
| 21                | 178,85             | 46                | 140,14             | 71                | 162,68             | 96                | 158,76             |
| 22                | 387,59             | 47                | 159,74             | 72                | 468,93             | 97                | 144,55             |
| 23                | 85,75              | 48                | 270,48             | 73                | 0                  | 98                | 429,73             |
| 24                | 295,96             | 49                | 336,63             | 74                | 33,32              | 99                | 454,72             |
| 25                | 231,77             | 50                | 252,84             | 75                | 130,83             | 100               | 0,98               |

**Tabla 27**

**Valores reales sensor 1 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 15                | 0                  |
| 53                | 0                  |
| 73                | 0                  |
| 89                | 0                  |
| 91                | 0                  |
| 100               | 0,98               |
| 38                | 2,45               |
| 80                | 7,84               |
| 63                | 24,01              |
| 90                | 32,34              |





**Figura 106 Diagrama BoxPlot sensor 1 en el diseño con un alerón**

En la figura 89 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 0 a 60 Pascales, mientras que en la figura 106 y la tabla 27 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 0 a 32,34 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 2 en el Bus con un Alerón

**Tabla 28**

#### Valores sensor 2 en prueba aerodinámica Bus con un alerón

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 583,296            | 26                | 540,96             | 51                | 56,448             | 76                | 294                |
| 2                 | 503,328            | 27                | 195,216            | 52                | 446,292            | 77                | 520,38             |
| 3                 | 117,012            | 28                | 87,024             | 53                | 74,676             | 78                | 37,632             |
| 4                 | 24,696             | 29                | 505,092            | 54                | 0                  | 79                | 182,868            |
| 5                 | 580,944            | 30                | 191,1              | 55                | 285,18             | 80                | 0                  |
| 6                 | 78,204             | 31                | 42,336             | 56                | 481,572            | 81                | 543,312            |
| 7                 | 239,904            | 32                | 74,676             | 57                | 4,116              | 82                | 122,304            |
| 8                 | 424,536            | 33                | 0                  | 58                | 421,596            | 83                | 0                  |
| 9                 | 367,5              | 34                | 413,952            | 59                | 66,444             | 84                | 160,524            |
| 10                | 323,4              | 35                | 225,792            | 60                | 0                  | 85                | 25,872             |
| 11                | 274,596            | 36                | 15,876             | 61                | 244,02             | 86                | 160,524            |
| 12                | 201,684            | 37                | 334,572            | 62                | 197,568            | 87                | 55,272             |
| 13                | 272,832            | 38                | 0                  | 63                | 229,32             | 88                | 0                  |

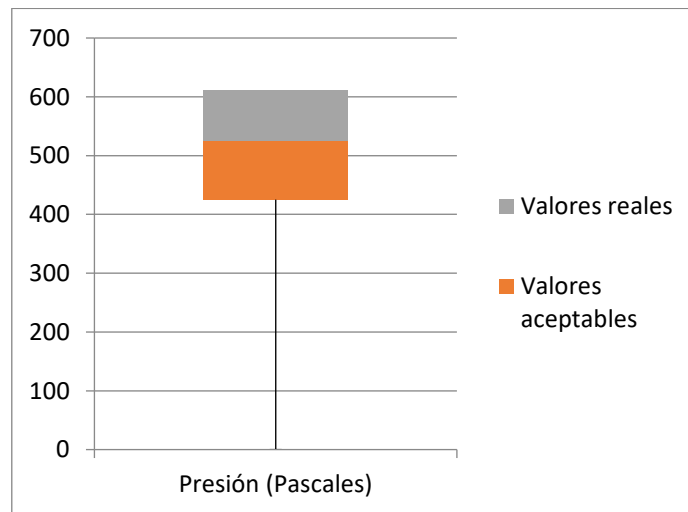
CONTINUA



|    |         |    |         |    |         |     |         |
|----|---------|----|---------|----|---------|-----|---------|
| 14 | 240,492 | 39 | 373,968 | 64 | 349,272 | 89  | 487,452 |
| 15 | 431,004 | 40 | 188,748 | 65 | 119,952 | 90  | 601,524 |
| 16 | 0       | 41 | 514,5   | 66 | 583,884 | 91  | 148,176 |
| 17 | 4,704   | 42 | 303,996 | 67 | 107,016 | 92  | 11,76   |
| 18 | 36,456  | 43 | 354,564 | 68 | 535,08  | 93  | 102,312 |
| 19 | 134,064 | 44 | 96,432  | 69 | 396,312 | 94  | 601,524 |
| 20 | 89,376  | 45 | 0       | 70 | 254,604 | 95  | 200,508 |
| 21 | 204,624 | 46 | 382,2   | 71 | 438,06  | 96  | 0       |
| 22 | 117,012 | 47 | 262,248 | 72 | 409,836 | 97  | 19,404  |
| 23 | 350,448 | 48 | 601,524 | 73 | 281,652 | 98  | 328,692 |
| 24 | 288,708 | 49 | 465,108 | 74 | 299,88  | 99  | 192,276 |
| 25 | 189,924 | 50 | 362,796 | 75 | 0       | 100 | 567,42  |

**Tabla 29**  
**Valores reales sensor 2 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|
| 68                | 535,08              |
| 26                | 540,96              |
| 81                | 543,312             |
| 100               | 567,42              |
| 5                 | 580,944             |
| 1                 | 583,296             |
| 66                | 583,884             |
| 48                | 601,524             |
| 90                | 601,524             |
| 94                | 601,524             |



**Figura 107 Diagrama BoxPlot sensor 2 en el diseño con un alerón**

En la figura 89 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 550 a 600 Pascales, mientras que en la figura 107 y la tabla 29 se observa

que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 535,08 a 601,524 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 3 en el Bus con un Alerón

**Tabla 30**

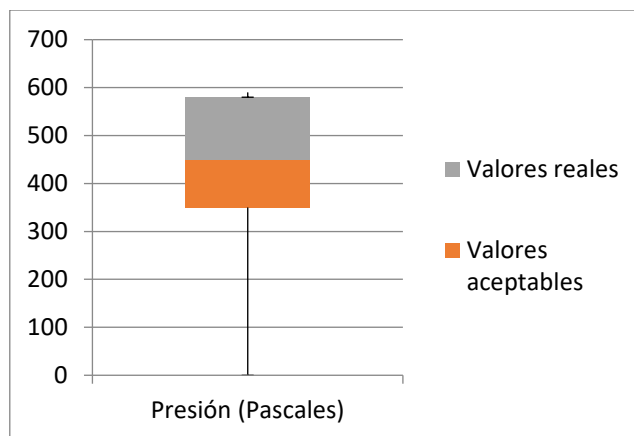
#### Valores sensor 3 en prueba aerodinámica Bus con un alerón

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 551,666            | 26                | 83,398             | 51                | 66,493             | 76                | 0                  |
| 2                 | 543,777            | 27                | 58,0405            | 52                | 0                  | 77                | 0                  |
| 3                 | 309,361            | 28                | 144,256            | 53                | 375,291            | 78                | 540,96             |
| 4                 | 44,5165            | 29                | 412,482            | 54                | 127,915            | 79                | 10,143             |
| 5                 | 218,638            | 30                | 0                  | 55                | 292,457            | 80                | 387,124            |
| 6                 | 221,456            | 31                | 0                  | 56                | 71,5645            | 81                | 186,518            |
| 7                 | 0                  | 32                | 445,165            | 57                | 466,578            | 82                | 286,822            |
| 8                 | 0                  | 33                | 537,015            | 58                | 267,099            | 83                | 0                  |
| 9                 | 346,553            | 34                | 0                  | 59                | 39,445             | 84                | 134,677            |
| 10                | 397,831            | 35                | 215,821            | 60                | 130,168            | 85                | 150,454            |
| 11                | 343,735            | 36                | 187,645            | 61                | 282,877            | 86                | 466,014            |
| 12                | 245,686            | 37                | 130,168            | 62                | 468,269            | 87                | 49,0245            |
| 13                | 259,21             | 38                | 191,026            | 63                | 0                  | 88                | 431,077            |
| 14                | 298,655            | 39                | 111,573            | 64                | 446,292            | 89                | 57,477             |
| 15                | 166,232            | 40                | 344,862            | 65                | 276,115            | 90                | 450,8              |
| 16                | 153,835            | 41                | 233,289            | 66                | 274,424            | 91                | 283,44             |
| 17                | 485,737            | 42                | 451,927            | 67                | 281,75             | 92                | 237,233            |
| 18                | 205,114            | 43                | 316,687            | 68                | 191,026            | 93                | 160,597            |
| 19                | 269,916            | 44                | 432,204            | 69                | 29,302             | 94                | 203,987            |
| 20                | 320,632            | 45                | 333,028            | 70                | 520,11             | 95                | 178,629            |
| 21                | 0                  | 46                | 423,752            | 71                | 385,998            | 96                | 148,201            |
| 22                | 406,847            | 47                | 129,605            | 72                | 576,46             | 97                | 15,778             |
| 23                | 87,906             | 48                | 155,526            | 73                | 330,774            | 98                | 264,281            |
| 24                | 298,091            | 49                | 3,9445             | 74                | 0                  | 99                | 0                  |
| 25                | 576,46             | 50                | 346,553            | 75                | 0                  | 100               | 47,334             |

**Tabla 31**

#### Valores reales sensor 3 con análisis del diagrama BoxPlot

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 57                | 466,578            |
| 62                | 468,269            |
| 17                | 485,737            |
| 70                | 520,11             |
| 33                | 537,015            |
| 78                | 540,96             |
| 2                 | 543,777            |
| 1                 | 551,666            |
| 25                | 576,46             |
| 72                | 576,46             |



**Figura 108 Diagrama BoxPlot sensor 3 en el diseño con un alerón**

En la figura 89 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 450 a 450 Pascales, mientras que en la figura 108 y la tabla 31 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 466,578 a 576,45 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 4 en el Bus con un Alerón

**Tabla 32**

#### Valores sensor 4 en prueba aerodinámica Bus con un alerón

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 217,56             | 26                | 141,708            | 51                | 90,552             | 76                | 284,298            |
| 2                 | 7,056              | 27                | 0                  | 52                | 149,94             | 77                | 92,61              |
| 3                 | 0                  | 28                | 18,816             | 53                | 21,168             | 78                | 115,542            |
| 4                 | 147,882            | 29                | 20,58              | 54                | 239,316            | 79                | 186,396            |
| 5                 | 250,488            | 30                | 75,558             | 55                | 146,706            | 80                | 0                  |
| 6                 | 44,982             | 31                | 230,79             | 56                | 182,868            | 81                | 93,786             |
| 7                 | 260,19             | 32                | 120,834            | 57                | 114,66             | 82                | 45,276             |
| 8                 | 0                  | 33                | 227,85             | 58                | 148,47             | 83                | 199,332            |
| 9                 | 0                  | 34                | 237,552            | 59                | 222,558            | 84                | 219,912            |
| 10                | 88,494             | 35                | 134,064            | 60                | 64,974             | 85                | 0                  |
| 11                | 74,382             | 36                | 79,674             | 61                | 73,206             | 86                | 261,072            |
| 12                | 253,722            | 37                | 204,624            | 62                | 23,814             | 87                | 300,762            |
| 13                | 291,06             | 38                | 294,294            | 63                | 286,944            | 88                | 167,874            |
| 14                | 72,618             | 39                | 261,954            | 64                | 300,762            | 89                | 0                  |
| 15                | 111,132            | 40                | 226,968            | 65                | 31,164             | 90                | 243,138            |

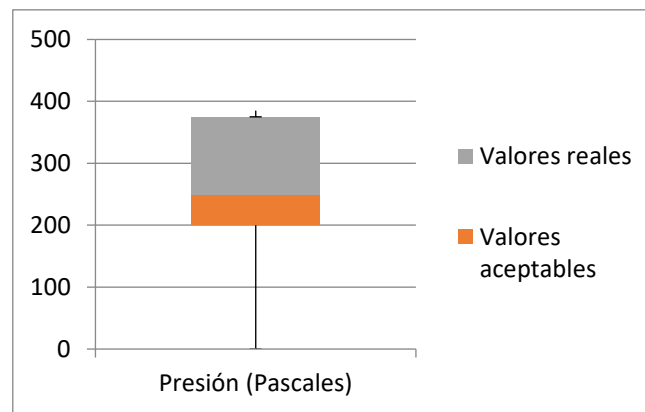
CONTINUA



|    |         |    |         |    |         |     |         |
|----|---------|----|---------|----|---------|-----|---------|
| 16 | 280,182 | 41 | 0       | 66 | 0       | 91  | 262,542 |
| 17 | 173,166 | 42 | 62,916  | 67 | 300,762 | 92  | 147,294 |
| 18 | 137,886 | 43 | 285,18  | 68 | 64,68   | 93  | 104,076 |
| 19 | 0       | 44 | 0       | 69 | 266,07  | 94  | 0       |
| 20 | 90,846  | 45 | 276,948 | 70 | 124,656 | 95  | 116,718 |
| 21 | 108,192 | 46 | 160,818 | 71 | 72,618  | 96  | 0       |
| 22 | 300,762 | 47 | 220,794 | 72 | 264,894 | 97  | 142,296 |
| 23 | 78,498  | 48 | 131,418 | 73 | 0       | 98  | 104,076 |
| 24 | 273,714 | 49 | 240,198 | 74 | 0       | 99  | 289,002 |
| 25 | 94,962  | 50 | 251,37  | 75 | 235,2   | 100 | 88,2    |

**Tabla 33**  
**Valores reales sensor 4 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|
| 76                | 284,298             |
| 43                | 285,18              |
| 63                | 286,944             |
| 99                | 289,002             |
| 13                | 291,06              |
| 38                | 294,294             |
| 22                | 300,762             |
| 64                | 300,762             |
| 67                | 300,762             |
| 87                | 300,762             |



**Figura 109 Diagrama BoxPlot sensor 4 en el diseño con un alerón**

En la figura 89 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 280 a 325 Pascales, mientras que en la figura 109 y la tabla 33 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 284,298 a 300,762 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

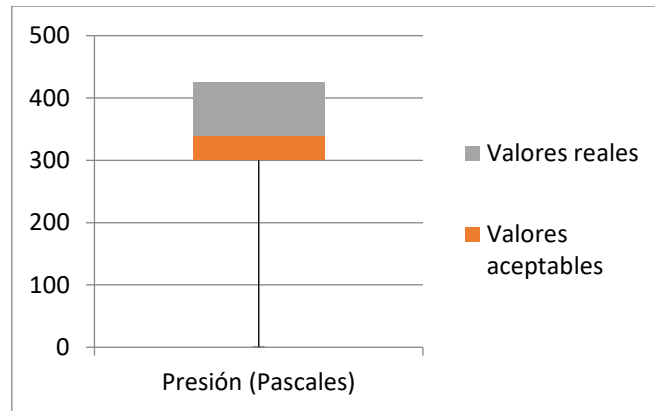
## Análisis de los valores del Sensor 5 en el Bus con un Alerón

**Tabla 34****Valores sensor 5 en prueba aerodinámica Bus con un alerón**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 1                 | 332,024             | 26                | 179,144             | 51                | 179,928             | 76                | 147,392             |
| 2                 | 0                   | 27                | 203,056             | 52                | 143,08              | 77                | 73,696              |
| 3                 | 138,376             | 28                | 166,992             | 53                | 144,256             | 78                | 167,776             |
| 4                 | 401,016             | 29                | 165,424             | 54                | 19,6                | 79                | 83,496              |
| 5                 | 145,04              | 30                | 163,464             | 55                | 240,296             | 80                | 0                   |
| 6                 | 332,808             | 31                | 268,128             | 56                | 0                   | 81                | 0                   |
| 7                 | 290,08              | 32                | 281,456             | 57                | 86,632              | 82                | 30,184              |
| 8                 | 347,704             | 33                | 158,368             | 58                | 267,736             | 83                | 0                   |
| 9                 | 119,168             | 34                | 237,944             | 59                | 201,096             | 84                | 302,624             |
| 10                | 101,528             | 35                | 207,368             | 60                | 81,536              | 85                | 186,592             |
| 11                | 68,6                | 36                | 252,056             | 61                | 272,44              | 86                | 377,496             |
| 12                | 186,984             | 37                | 190,12              | 62                | 347,704             | 87                | 216,776             |
| 13                | 346,528             | 38                | 371,616             | 63                | 21,168              | 88                | 401,016             |
| 14                | 0                   | 39                | 268,912             | 64                | 0                   | 89                | 401,016             |
| 15                | 144,256             | 40                | 369,656             | 65                | 0                   | 90                | 139,16              |
| 16                | 313,6               | 41                | 351,624             | 66                | 56,448              | 91                | 86,24               |
| 17                | 59,192              | 42                | 202,664             | 67                | 97,216              | 92                | 305,76              |
| 18                | 74,088              | 43                | 183,456             | 68                | 11,76               | 93                | 174,44              |
| 19                | 253,232             | 44                | 219,912             | 69                | 147                 | 94                | 234,024             |
| 20                | 57,624              | 45                | 7,84                | 70                | 97,216              | 95                | 134,848             |
| 21                | 385,336             | 46                | 244,608             | 71                | 76,048              | 96                | 225,4               |
| 22                | 0                   | 47                | 223,832             | 72                | 353,584             | 97                | 0                   |
| 23                | 38,416              | 48                | 276,752             | 73                | 145,824             | 98                | 3,136               |
| 24                | 1,96                | 49                | 336,728             | 74                | 0                   | 99                | 168,952             |
| 25                | 360,248             | 50                | 126,224             | 75                | 49,392              | 100               | 246,176             |

**Tabla 35****Valores reales sensor 5 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|
| 41                | 351,624             |
| 72                | 353,584             |
| 25                | 360,248             |
| 40                | 369,656             |
| 38                | 371,616             |
| 86                | 377,496             |
| 21                | 385,336             |
| 4                 | 401,016             |
| 88                | 401,016             |
| 89                | 401,016             |



**Figura 110 Diagrama BoxPlot sensor 5 en el diseño con un alerón**

En la figura 89 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 350 a 400 Pascales, mientras que en la figura 110 y la tabla 35 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 351,624 a 401,016 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

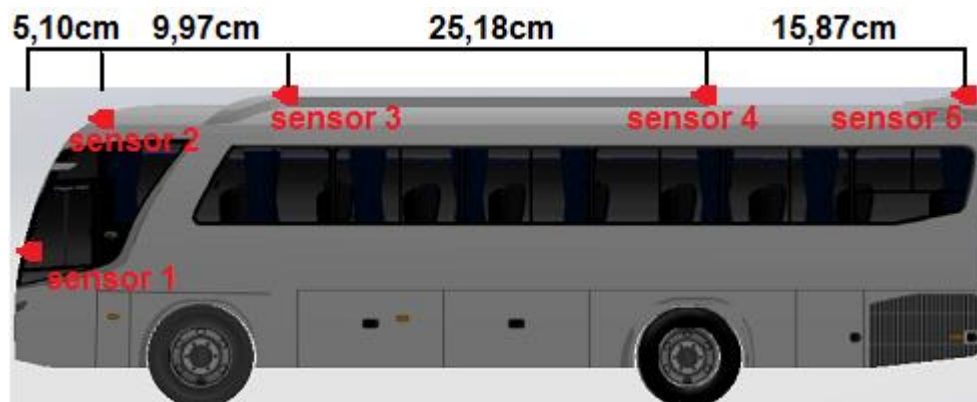


**Figura 111 Programa con valores del Bus con un alerón**

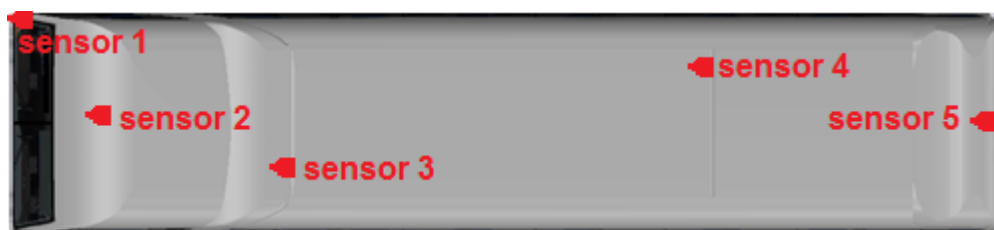
**Tabla 36**  
**Resumen valores de sensores en el Bus con un alerón**

|          | Presión (Pa) | Velocidad (m/s) |
|----------|--------------|-----------------|
| Sensor 1 | 0            | 0               |
| Sensor 2 | 601,524      | 31,34           |
| Sensor 3 | 576,46       | 30,68           |
| Sensor 4 | 300,762      | 22,16           |
| Sensor 5 | 401,016      | 25,59           |

### 5.7.3. Análisis del bus con dos alerones



**Figura 112 Ubicación y distancia de los sensores en el Bus, vista lateral**



**Figura 113 Ubicación de los sensores en el Bus, vista superior**

Mediante el diagrama de BoxPlot se analizará los valores obtenidos en las pruebas del túnel de viento determinando los valores reales y los valores atípicos para su respectivo análisis, mediante el siguiente proceso:

- Determinar el límite inferior y superior en los cuales deberían variar los datos de cada uno de los sensores.



- Determinar los tres cuartiles de los datos, Q1 (cuartil 1) es la mediana de la primera mitad de los datos, Q2 (cuartil 2) es la mediana de todos los datos y Q3 (cuartil 3) es la mediana de la segunda mitad de los datos.
- Construir el diagrama a partir de los valores obtenidos y separando así los datos atípicos de los datos reales a ser analizados.

Análisis de los valores del Sensor 1 en el Bus con dos Alerones

**Tabla 37**

**Valores sensor 1 en prueba aerodinámica Bus con dos alerones**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 65,66              | 26                | 113,19             | 51                | 299,39             | 76                | 43,12              |
| 2                 | 102,41             | 27                | 418,46             | 52                | 412,09             | 77                | 399,84             |
| 3                 | 78,89              | 28                | 501,27             | 53                | 83,79              | 78                | 368,48             |
| 4                 | 0                  | 29                | 0                  | 54                | 191,59             | 79                | 4,9                |
| 5                 | 210,21             | 30                | 0                  | 55                | 0                  | 80                | 434,63             |
| 6                 | 184,24             | 31                | 0                  | 56                | 501,27             | 81                | 148,96             |
| 7                 | 57,82              | 32                | 268,52             | 57                | 166,11             | 82                | 60,76              |
| 8                 | 174,93             | 33                | 220,99             | 58                | 111,72             | 83                | 401,31             |
| 9                 | 0                  | 34                | 7,84               | 59                | 336,63             | 84                | 475,3              |
| 10                | 228,83             | 35                | 148,96             | 60                | 501,27             | 85                | 415,52             |
| 11                | 179,34             | 36                | 0                  | 61                | 429,24             | 86                | 346,92             |
| 12                | 299,88             | 37                | 79,87              | 62                | 2,94               | 87                | 470,4              |
| 13                | 161,7              | 38                | 187,18             | 63                | 501,27             | 88                | 501,27             |
| 14                | 154,84             | 39                | 236,67             | 64                | 0                  | 89                | 115,15             |
| 15                | 124,95             | 40                | 85,26              | 65                | 24,5               | 90                | 297,92             |
| 16                | 0                  | 41                | 70,56              | 66                | 133,77             | 91                | 496,37             |
| 17                | 449,33             | 42                | 0                  | 67                | 252,35             | 92                | 319,97             |
| 18                | 99,47              | 43                | 101,92             | 68                | 383,67             | 93                | 466,48             |
| 19                | 0                  | 44                | 107,8              | 69                | 175,91             | 94                | 436,1              |
| 20                | 472,36             | 45                | 501,27             | 70                | 14,7               | 95                | 143,57             |
| 21                | 0                  | 46                | 246,96             | 71                | 167,09             | 96                | 81,34              |
| 22                | 290,57             | 47                | 501,27             | 72                | 268,03             | 97                | 12,74              |
| 23                | 390,04             | 48                | 0                  | 73                | 501,27             | 98                | 36,26              |
| 24                | 436,1              | 49                | 40,18              | 74                | 501,27             | 99                | 323,89             |
| 25                | 121,03             | 50                | 352,31             | 75                | 279,79             | 100               | 196                |

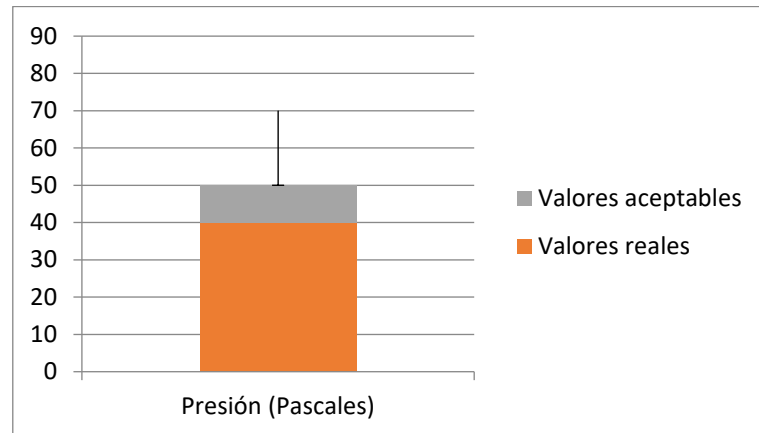
**Tabla 38**

**Valores reales sensor 1 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 4                 | 0                  |
| 16                | 0                  |
| 64                | 0                  |
| 62                | 2,94               |

CONTINUA 

|    |       |
|----|-------|
| 79 | 4,9   |
| 34 | 7,84  |
| 97 | 12,74 |
| 70 | 14,7  |
| 65 | 24,5  |
| 98 | 36,26 |



**Figura 114 Diagrama BoxPlot sensor 1 en el diseño con dos alerones**

En la figura 82 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 0 a 70 Pascales, mientras que en la figura 114 y la tabla 38 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 0 a 36,26 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

Análisis de los valores del Sensor 2 en el Bus con dos Alerones

**Tabla 39**

**Valores sensor 2 en prueba aerodinámica Bus con dos alerones**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 292,236            | 26                | 0                  | 51                | 701,778            | 76                | 701,778            |
| 2                 | 0                  | 27                | 0                  | 52                | 701,778            | 77                | 339,57             |
| 3                 | 220,892            | 28                | 701,778            | 53                | 299,096            | 78                | 332,71             |
| 4                 | 391,706            | 29                | 391,02             | 54                | 540,568            | 79                | 8,232              |
| 5                 | 378,672            | 30                | 181,79             | 55                | 677,082            | 80                | 0                  |
| 6                 | 625,632            | 31                | 280,574            | 56                | 177,674            | 81                | 640,038            |
| 7                 | 109,76             | 32                | 0                  | 57                | 701,778            | 82                | 0                  |

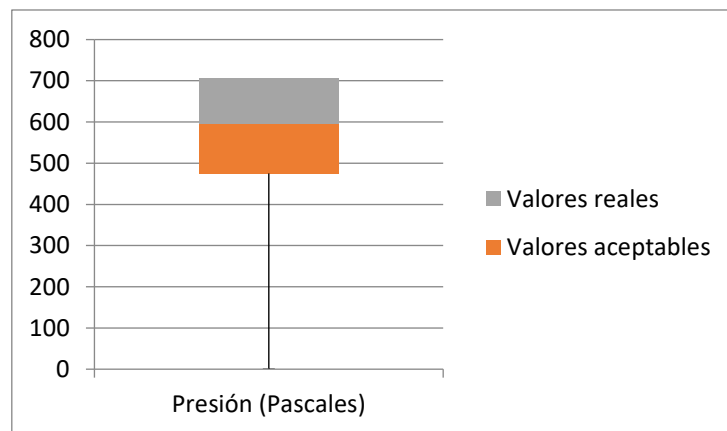
CONTINUA



|    |         |    |         |    |         |     |         |
|----|---------|----|---------|----|---------|-----|---------|
| 8  | 433,552 | 33 | 476,084 | 58 | 701,778 | 83  | 701,778 |
| 9  | 91,238  | 34 | 471,282 | 59 | 0       | 84  | 340,256 |
| 10 | 0       | 35 | 353,29  | 60 | 205,8   | 85  | 677,082 |
| 11 | 163,268 | 36 | 646,212 | 61 | 695,604 | 86  | 100,156 |
| 12 | 361,522 | 37 | 229,81  | 62 | 342,314 | 87  | 55,566  |
| 13 | 201,684 | 38 | 218,148 | 63 | 0       | 88  | 383,474 |
| 14 | 0       | 39 | 528,22  | 64 | 620,144 | 89  | 429,436 |
| 15 | 35,672  | 40 | 242,158 | 65 | 0       | 90  | 366,324 |
| 16 | 0       | 41 | 140,63  | 66 | 113,876 | 91  | 404,054 |
| 17 | 278,516 | 42 | 127,596 | 67 | 0       | 92  | 350,546 |
| 18 | 340,942 | 43 | 0       | 68 | 485,002 | 93  | 356,034 |
| 19 | 0       | 44 | 0       | 69 | 6,86    | 94  | 242,158 |
| 20 | 596,82  | 45 | 0       | 70 | 438,354 | 95  | 441,098 |
| 21 | 696,976 | 46 | 701,778 | 71 | 148,176 | 96  | 43,904  |
| 22 | 274,4   | 47 | 156,408 | 72 | 0       | 97  | 36,358  |
| 23 | 701,778 | 48 | 284,004 | 73 | 701,778 | 98  | 436,982 |
| 24 | 503,524 | 49 | 0       | 74 | 344,372 | 99  | 701,778 |
| 25 | 99,47   | 50 | 106,33  | 75 | 0       | 100 | 76,146  |

**Tabla 40**  
**Valores reales sensor 2 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascuales) |
|-------------------|---------------------|
| 6                 | 625,632             |
| 81                | 640,038             |
| 36                | 646,212             |
| 55                | 677,082             |
| 85                | 677,082             |
| 61                | 695,604             |
| 21                | 696,976             |
| 23                | 701,778             |
| 28                | 701,778             |
| 46                | 701,778             |



**Figura 115 Diagrama BoxPlot sensor 2 en el diseño con dos alerones**

En la figura 82 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de

600 a 685 Pascales, mientras que en la figura 115 y la tabla 40 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 625,632 a 701,778 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 3 en el Bus con dos Alerones

**Tabla 41**

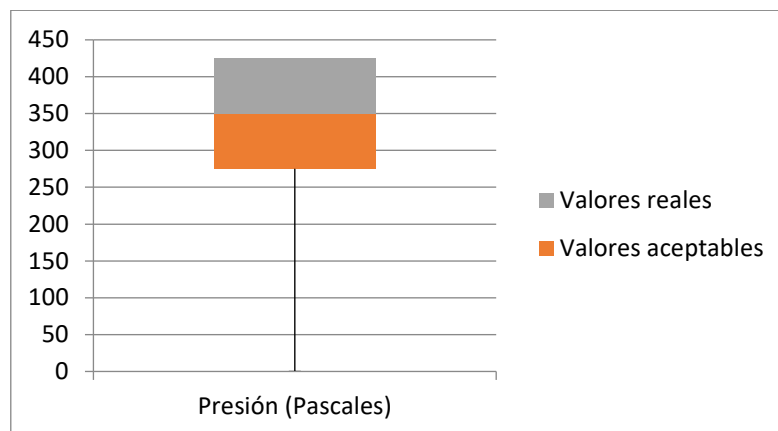
#### Valores sensor 3 en prueba aerodinámica Bus con dos alerones

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 109,76             | 26                | 104,664            | 51                | 47,824             | 76                | 42,728             |
| 2                 | 0                  | 27                | 0                  | 52                | 78,008             | 77                | 204,232            |
| 3                 | 58,016             | 28                | 401,016            | 53                | 0                  | 78                | 32,536             |
| 4                 | 0                  | 29                | 232,456            | 54                | 312,424            | 79                | 283,416            |
| 5                 | 0                  | 30                | 333,2              | 55                | 401,016            | 80                | 139,552            |
| 6                 | 307,72             | 31                | 398,272            | 56                | 167,384            | 81                | 317,128            |
| 7                 | 29,792             | 32                | 401,016            | 57                | 132,496            | 82                | 61,152             |
| 8                 | 114,856            | 33                | 114,464            | 58                | 109,368            | 83                | 152,88             |
| 9                 | 240,688            | 34                | 22,736             | 59                | 0                  | 84                | 382,2              |
| 10                | 332,808            | 35                | 0                  | 60                | 256,368            | 85                | 131,712            |
| 11                | 12,152             | 36                | 295,568            | 61                | 176,008            | 86                | 6,272              |
| 12                | 250,88             | 37                | 0                  | 62                | 356,72             | 87                | 391,216            |
| 13                | 357,504            | 38                | 34,496             | 63                | 77,616             | 88                | 299,88             |
| 14                | 237,552            | 39                | 134,456            | 64                | 0                  | 89                | 223,832            |
| 15                | 219,128            | 40                | 20,384             | 65                | 103,488            | 90                | 124,656            |
| 16                | 0                  | 41                | 334,768            | 66                | 0                  | 91                | 399,84             |
| 17                | 0                  | 42                | 196,784            | 67                | 0                  | 92                | 0,784              |
| 18                | 232,456            | 43                | 362,992            | 68                | 159,544            | 93                | 401,016            |
| 19                | 372,4              | 44                | 118,384            | 69                | 214,424            | 94                | 0                  |
| 20                | 162,288            | 45                | 195,216            | 70                | 0                  | 95                | 206,976            |
| 21                | 254,408            | 46                | 199,136            | 71                | 398,272            | 96                | 268,52             |
| 22                | 261,464            | 47                | 0                  | 72                | 355,544            | 97                | 124,656            |
| 23                | 214,424            | 48                | 76,44              | 73                | 401,016            | 98                | 3,92               |
| 24                | 93,296             | 49                | 6,664              | 74                | 0                  | 99                | 50,568             |
| 25                | 161,896            | 50                | 0                  | 75                | 0                  | 100               | 176,4              |

**Tabla 42**

#### Valores reales sensor 3 con análisis del diagrama BoxPlot

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 43                | 362,992            |
| 19                | 372,4              |
| 84                | 382,2              |
| 87                | 391,216            |
| 31                | 398,272            |
| 71                | 398,272            |
| 91                | 399,84             |
| 28                | 401,016            |
| 32                | 401,016            |
| 55                | 401,016            |



**Figura 116 Diagrama BoxPlot sensor 3 en el diseño con dos alerones**

En la figura 82 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 350 a 400 Pascales, mientras que en la figura 116 y la tabla 42 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 362,992 a 401,016 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

Análisis de los valores del Sensor 4 en el Bus con dos Alerones

**Tabla 43**

**Valores sensor 4 en prueba aerodinámica Bus con dos alerones**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 230,584            | 26                | 0                  | 51                | 0                  | 76                | 87,906             |
| 2                 | 207,593            | 27                | 115,405            | 52                | 230,584            | 77                | 77,9884            |
| 3                 | 97,5982            | 28                | 230,584            | 53                | 0                  | 78                | 230,584            |
| 4                 | 87,2298            | 29                | 7,4382             | 54                | 134,564            | 79                | 153,723            |
| 5                 | 71,9026            | 30                | 230,584            | 55                | 0                  | 80                | 59,0548            |
| 6                 | 7,889              | 31                | 38,0926            | 56                | 230,584            | 81                | 219,765            |
| 7                 | 72,128             | 32                | 12,397             | 57                | 129,83             | 82                | 0                  |
| 8                 | 60,6326            | 33                | 230,584            | 58                | 228,33             | 83                | 116,081            |
| 9                 | 0                  | 34                | 0                  | 59                | 166,796            | 84                | 190,012            |
| 10                | 60,858             | 35                | 0                  | 60                | 36,064             | 85                | 140,875            |
| 11                | 28,175             | 36                | 162,513            | 61                | 224,273            | 86                | 29,302             |
| 12                | 106,163            | 37                | 164,317            | 62                | 230,584            | 87                | 64,239             |
| 13                | 179,644            | 38                | 152,596            | 63                | 151,92             | 88                | 191,365            |

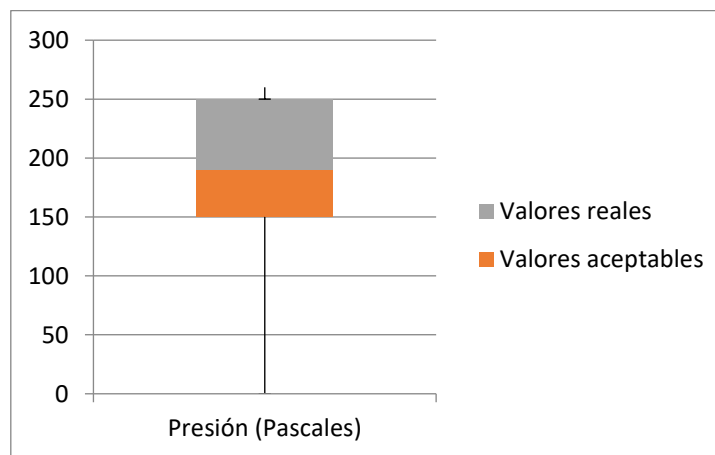
CONTINUA



|    |         |    |         |    |         |     |         |
|----|---------|----|---------|----|---------|-----|---------|
| 14 | 29,9782 | 39 | 63,5628 | 64 | 146,51  | 89  | 230,584 |
| 15 | 14,8764 | 40 | 61,5342 | 65 | 115,405 | 90  | 230,584 |
| 16 | 0       | 41 | 134,564 | 66 | 156,878 | 91  | 95,5696 |
| 17 | 0       | 42 | 0       | 67 | 0       | 92  | 36,5148 |
| 18 | 28,4004 | 43 | 198,577 | 68 | 0       | 93  | 117,433 |
| 19 | 12,1716 | 44 | 222,921 | 69 | 95,795  | 94  | 201,508 |
| 20 | 16,905  | 45 | 230,584 | 70 | 109,544 | 95  | 60,4072 |
| 21 | 113,602 | 46 | 135,916 | 71 | 230,584 | 96  | 175,361 |
| 22 | 90,8362 | 47 | 0       | 72 | 16,0034 | 97  | 143,805 |
| 23 | 24,1178 | 48 | 174,009 | 73 | 0       | 98  | 13,0732 |
| 24 | 212,552 | 49 | 210,749 | 74 | 230,584 | 99  | 208,72  |
| 25 | 50,2642 | 50 | 230,584 | 75 | 76,4106 | 100 | 183,476 |

**Tabla 44**  
**Valores reales sensor 4 con análisis del diagrama BoxPlot**

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 49                | 210,749            |
| 24                | 212,552            |
| 81                | 219,765            |
| 44                | 222,921            |
| 61                | 224,273            |
| 58                | 228,33             |
| 1                 | 230,584            |
| 28                | 230,584            |
| 30                | 230,584            |
| 33                | 230,584            |



**Figura 117 Diagrama BoxPlot sensor 4 en el diseño con dos alerones**

En la figura 82 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 200 a 280 Pascales, mientras que en la figura 117 y la tabla 44 se observa

que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 210,749 a 230,584 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.

#### Análisis de los valores del Sensor 5 en el Bus con dos Alerones

**Tabla 45**

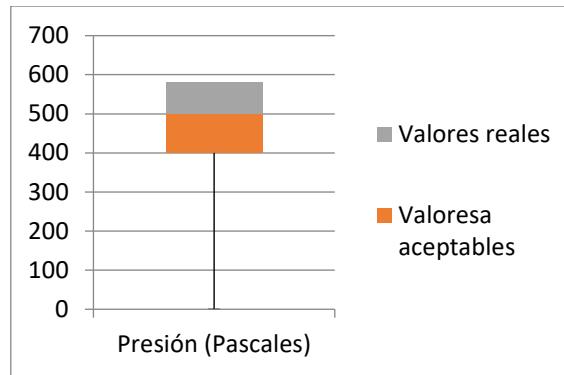
#### Valores sensor 5 en prueba aerodinámica Bus con dos alerones

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) | Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1                 | 305,407            | 26                | 464,344            | 51                | 417,078            | 76                | 43,6296            |
| 2                 | 310,082            | 27                | 531,346            | 52                | 5,194              | 77                | 53,4982            |
| 3                 | 234,249            | 28                | 171,921            | 53                | 529,269            | 78                | 103,88             |
| 4                 | 172,441            | 29                | 531,346            | 54                | 52,9788            | 79                | 66,4832            |
| 5                 | 0                  | 30                | 63,8862            | 55                | 202,566            | 80                | 309,562            |
| 6                 | 212,435            | 31                | 229,575            | 56                | 450,32             | 81                | 0                  |
| 7                 | 47,7848            | 32                | 221,784            | 57                | 274,763            | 82                | 185,426            |
| 8                 | 108,035            | 33                | 236,327            | 58                | 75,8324            | 83                | 82,0652            |
| 9                 | 171,921            | 34                | 0                  | 59                | 531,346            | 84                | 378,123            |
| 10                | 35,3192            | 35                | 48,8236            | 60                | 427,986            | 85                | 296,058            |
| 11                | 96,6084            | 36                | 358,386            | 61                | 531,346            | 86                | 232,691            |
| 12                | 0                  | 37                | 118,423            | 62                | 239,443            | 87                | 226,978            |
| 13                | 360,464            | 38                | 24,4118            | 63                | 0                  | 88                | 504,337            |
| 14                | 299,694            | 39                | 531,346            | 64                | 0                  | 89                | 531,346            |
| 15                | 440,971            | 40                | 174,518            | 65                | 175,557            | 90                | 58,6922            |
| 16                | 318,392            | 41                | 531,346            | 66                | 475,77             | 91                | 379,681            |
| 17                | 0                  | 42                | 326,183            | 67                | 0                  | 92                | 531,346            |
| 18                | 421,233            | 43                | 112,19             | 68                | 0                  | 93                | 39,9938            |
| 19                | 428,505            | 44                | 0                  | 69                | 253,987            | 94                | 148,029            |
| 20                | 84,1428            | 45                | 517,842            | 70                | 0                  | 95                | 523,555            |
| 21                | 487,717            | 46                | 364,619            | 71                | 241,521            | 96                | 0                  |
| 22                | 266,972            | 47                | 169,324            | 72                | 136,602            | 97                | 501,74             |
| 23                | 247,754            | 48                | 219,706            | 73                | 511,09             | 98                | 32,2028            |
| 24                | 262,297            | 49                | 393,186            | 74                | 56,6146            | 99                | 151,145            |
| 25                | 531,346            | 50                | 531,346            | 75                | 0,5194             | 100               | 531,346            |

**Tabla 46**

#### Valores reales sensor 5 con análisis del diagrama BoxPlot

| Tiempo (segundos) | Presión (Pascales) |
|-------------------|--------------------|
| 97                | 501,74             |
| 88                | 504,337            |
| 73                | 511,09             |
| 45                | 517,842            |
| 95                | 523,555            |
| 53                | 529,269            |
| 25                | 531,346            |
| 27                | 531,346            |
| 29                | 531,346            |
| 39                | 531,346            |



**Figura 118 Diagrama BoxPlot sensor 5 en el diseño con dos alerones**

En la figura 82 se observan los valores obtenidos en el análisis mediante el software de diseño donde se observa que la variación de la presión es de 500 a 550 Pascales, mientras que en la figura 118 y la tabla 46 se observa que los valores reales obtenidos en el análisis del túnel de viento la variación de la presión es de un común de 501,74 a 531,346 Pascales, lo que indica que se encuentra dentro del rango.



**Figura 119 Programa con valores del Bus con dos alerones**

**Tabla 47  
Resumen valores de sensores en el Bus con dos alerones**

|          | Presión (Pa) | Velocidad (m/s) |
|----------|--------------|-----------------|
| Sensor 1 | 0            | 0               |
| Sensor 2 | 701,778      | 33,85           |
| Sensor 3 | 401,016      | 25,59           |
| Sensor 4 | 230,584      | 19,40           |
| Sensor 5 | 531,346      | 29,45           |



## CAPÍTULO VI

### 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 6.1. Análisis estático de la estructura

##### 6.1.1. Análisis de la estructura por combinaciones

El software Autodesk Robot Structural versión demo, permite un alto grado de precisión en el cálculo de estructuras a carga dinámica y estática, se lo ha utilizado para el presente caso.

La norma INEN por medio de su norma técnica 1323, solicita que para el análisis y validación de las estructuras de carrocerías de bus se tome en cuenta cualquiera de los dos métodos de combinaciones de cargas, esto en función de las que anteriormente se definió:

Según método ASD (Allowable strength design)

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

Y según:

Según método LRFD (Load resistance factor design)

- 1: 1,4M+V
- 2: 1,2M + 1,6V + 0,5G
- 3: 1,2M + 0,5V + 1,6G
- 4: 1,2M + 1,6F+ 0,8 Raf
- 5: 1,2M + 0,5 V+ 0,5F+ 1,3Raf
- 6: 1,2M +1,5Ab +0,5V
- 7: 0,9M – 1,3Raf
- 8: 0,9M + 1,3Raf

En la tabla 48 se presenta los resultados de cargas aplicadas de acuerdo al análisis cuasi-estático de la estructura del bus, basándose en la Norma NTE INEN 1323:2009, la cual establece que para este análisis se los debe realizar mediante la combinación de cargas estáticas y dinámicas, se ocupará el método LRFD para el análisis que vamos a desarrollar y mediante los valores obtenidos con la ayuda de las fórmulas de cargas estáticas y dinámicas que se encuentran en la tabla 8 se determinará cada una de las ocho combinaciones.

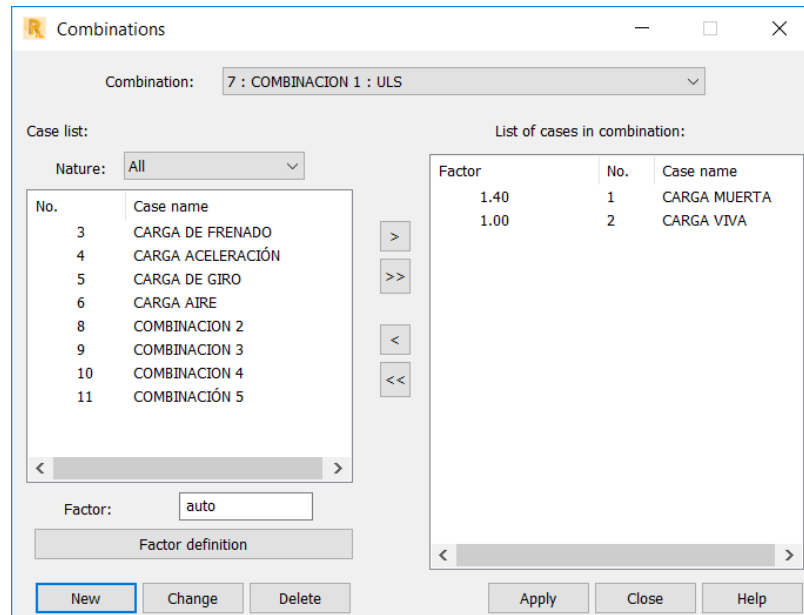
**Tabla 48**

**Valores de cargas combinadas por el método LRFD**

|          | <b>Casos de combinaciones</b> | <b>Valor (N)</b> |
|----------|-------------------------------|------------------|
| <b>1</b> | 1,4M + V                      | 179969,16        |
| <b>2</b> | 1,2M + 1,6V + 0,5G            | 190393,25        |
| <b>3</b> | 1,2M + 0,5V + 1,6G            | 177441,784       |
| <b>4</b> | 1,2M + 1,6F + 0,8Raf          | 217412,76        |
| <b>5</b> | 1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3Raf   | 173435,985       |
| <b>6</b> | 1,2M + 1,5Ab + 0,5V           | 226802,28        |
| <b>7</b> | 0,9M – 1,3Raf                 | 90913,755        |
| <b>8</b> | 0,9M + 1,3Raf                 | 97005,165        |

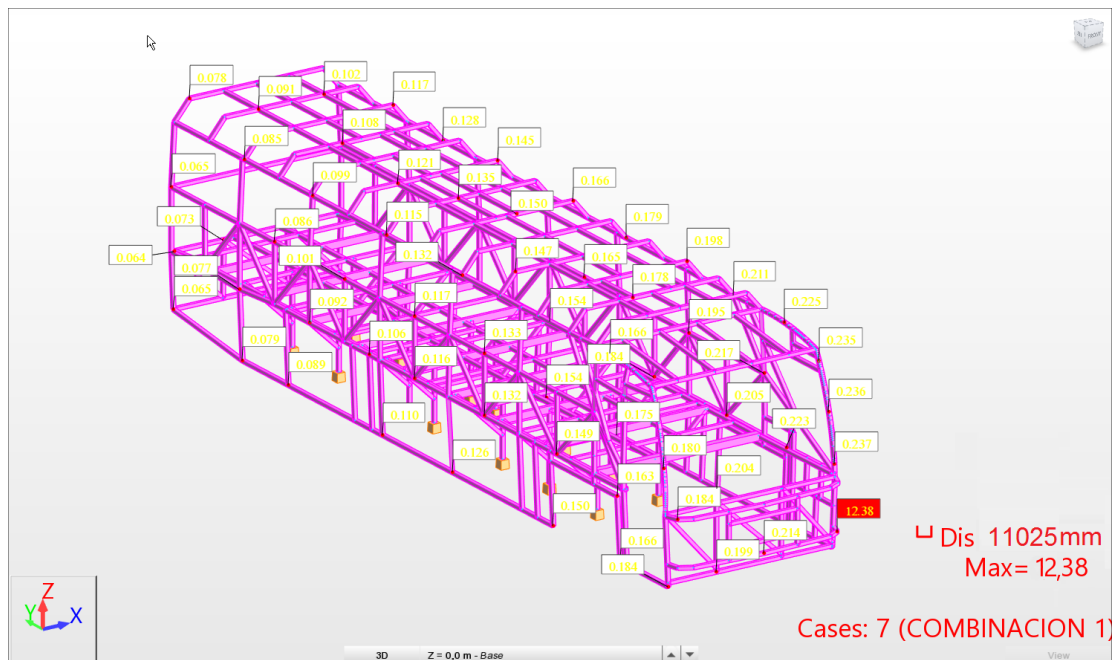
**6.1.1.1. Primera combinación**

Se procede a configurar la primera combinación la cual se muestra a continuación en la figura 120, mediante la ecuación dada por  $1,4M+V$



**Figura 120 Aplicación de primera combinación**

De esta combinación de carga se ha realizado la simulación correspondiente y se ha determinado lo siguiente:



**Figura 121 Resultados primera combinación**

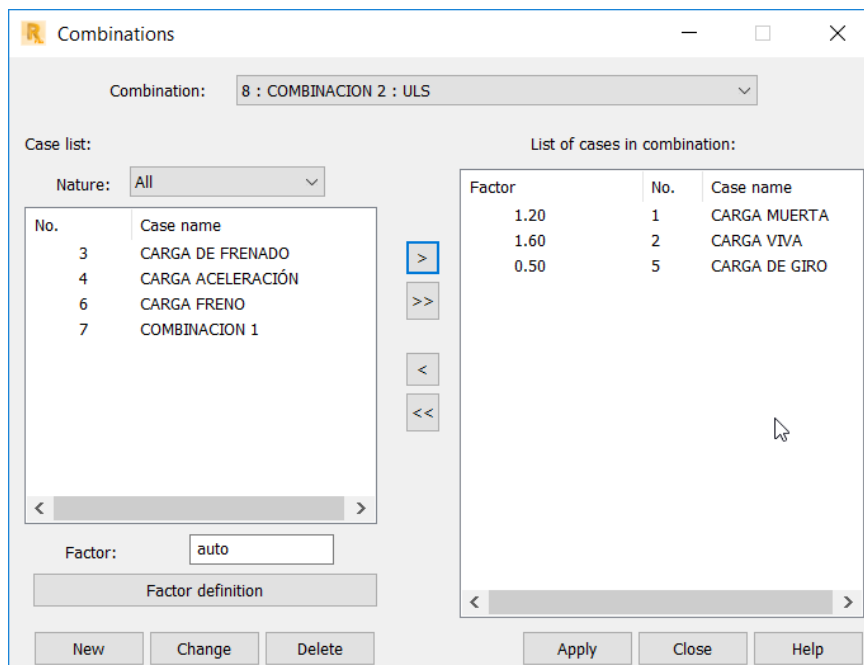
Mediante la figura 121 se observa que la deformación máxima se encuentra en la parte frontal derecha inferior, cuyo valor es de 12,38 mm. La norma solicita que la deformación máxima que puede tener el elemento estructural más crítico de la carrocería no debe sobrepasar el 1/240 de la longitud original de la carrocería, para este caso se tiene una longitud de carrocería de 11025 mm, donde:

$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 12,38mm$$

Por ende, se concluye que para esta combinación la carrocería cumple con el requisito de la norma y se valida.

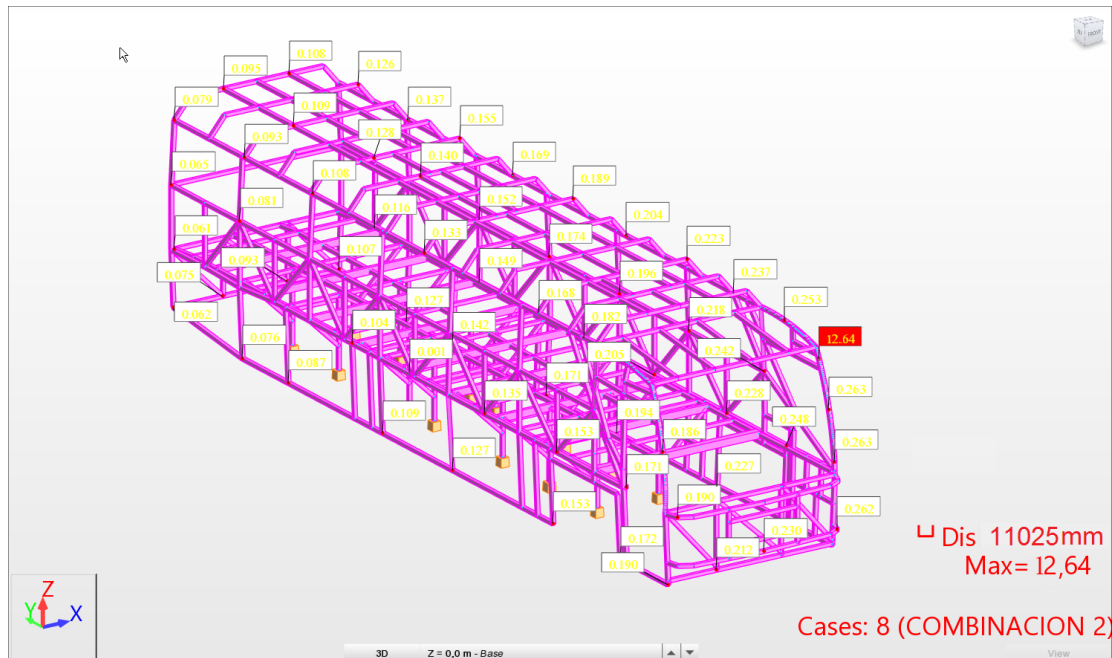
### 6.1.1.2. Segunda combinación

Se procede a configurar la segunda prueba según norma la cual se indica con la ecuación  $1,2M+1,6V+0,5G$



**Figura 122 Aplicación segunda combinación**

A partir de estos datos introducidos y la simulación efectuada se obtiene los siguientes resultados:



**Figura 123 Resultados segunda combinación**

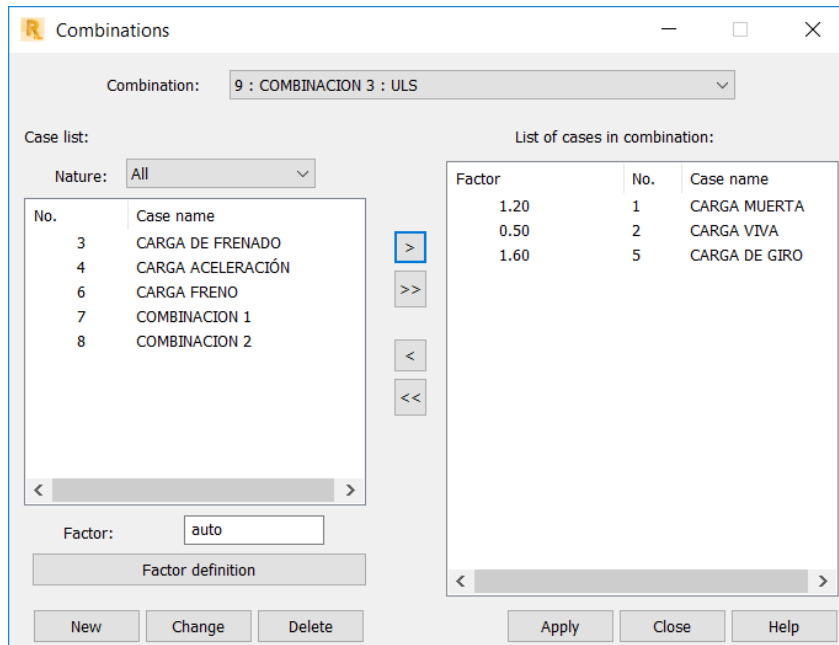
En la figura 123 se observa que la deformación máxima se realiza en la parte frontal superior derecha de la carrocería cuyo valor es de 12,64 mm y se procede a realizar la comparación que exige la norma:

$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 12,64mm$$

Se concluye que la estructura es válida para la combinación dos por ser la deformación menor a la 1/240 de la longitud de la carrocería y cumplir la norma.

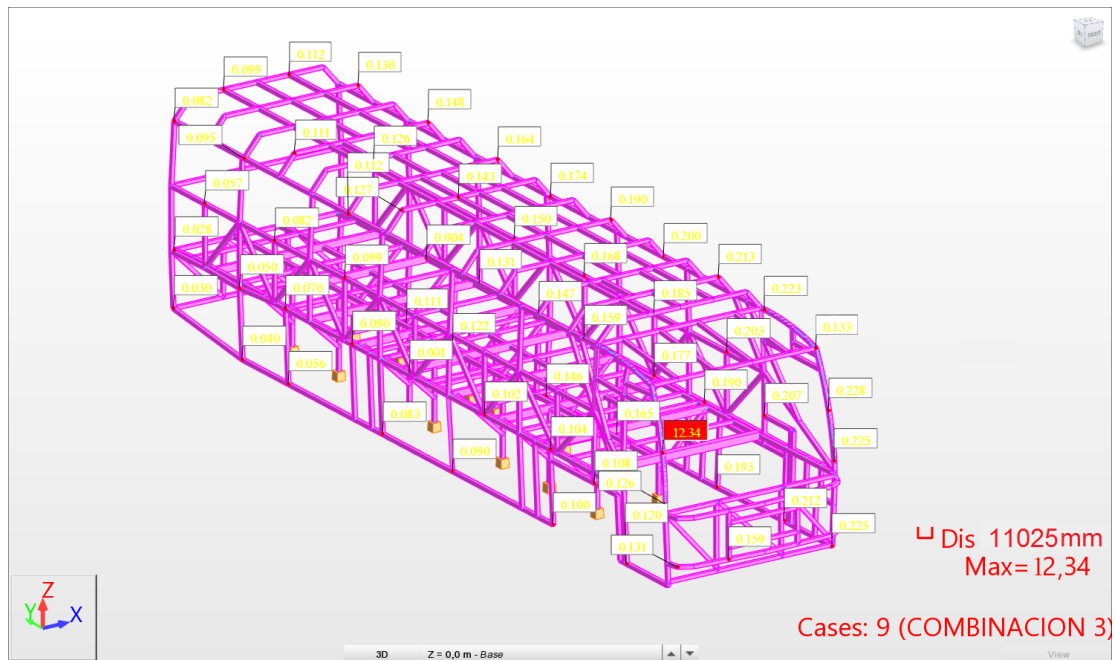
### 6.1.1.3. Tercera combinación

Se procede a configurar la tercera combinación como se muestra a continuación mediante la fórmula  $1,2M+0,5V+1,6G$



**Figura 124 Aplicación tercera combinación**

Se obtienen los siguientes resultados



**Figura 125 Resultados tercera combinación**

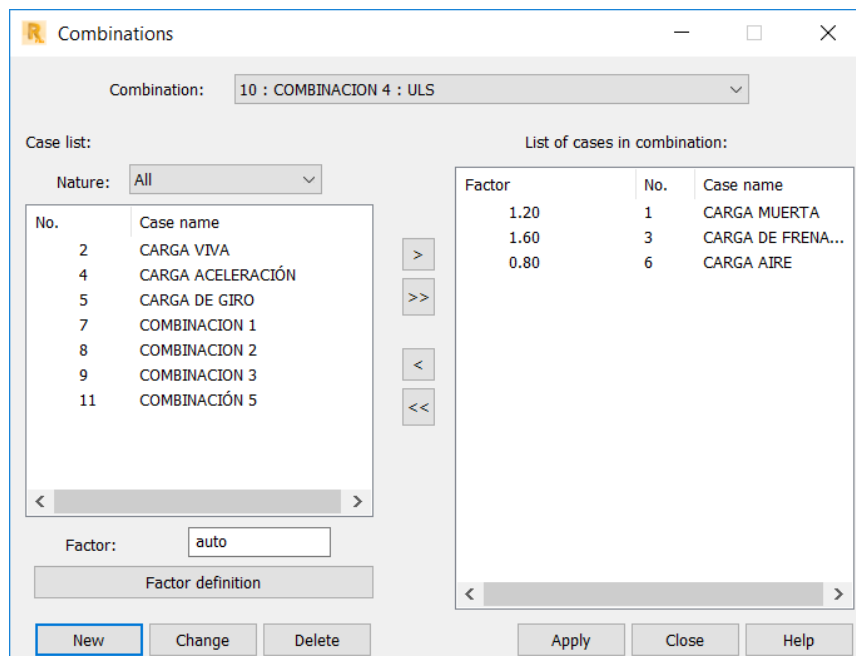
En la figura 125 se observa que la máxima deformación se presenta en un elemento estructural lateral frontal izquierdo, cuyo valor es de 12,34 mm así:

$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 12,34mm$$

Se concluye que la carrocería está validada cuasi estáticamente para la combinación tres por cumplir con la norma.

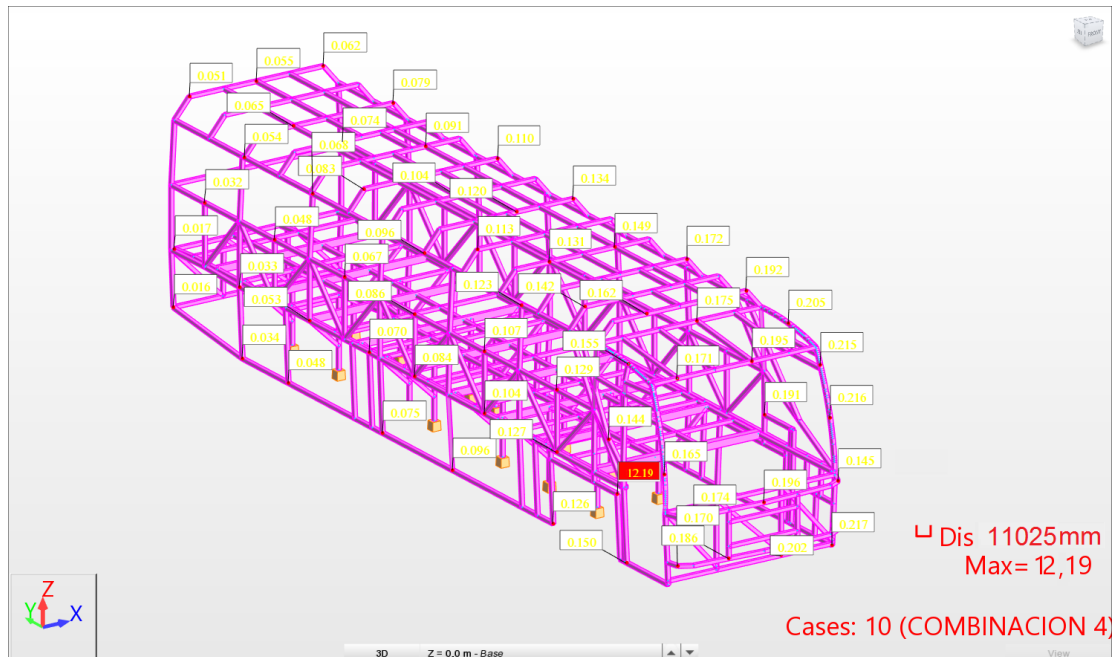
#### 6.1.1.4. Cuarta combinación

La configuración de la cuarta combinación se muestra a continuación mediante la fórmula  $1,2M+1,6F+0,8Raf$ :



**Figura 126 Aplicación cuarta combinación**

Los resultados obtenidos de esta configuración se muestran en la siguiente figura:



**Figura 127 Resultados cuarta combinación**

En la figura 127 se observa que el elemento más crítico es lateral izquierdo con una deformación de 12,19 mm, por tanto:

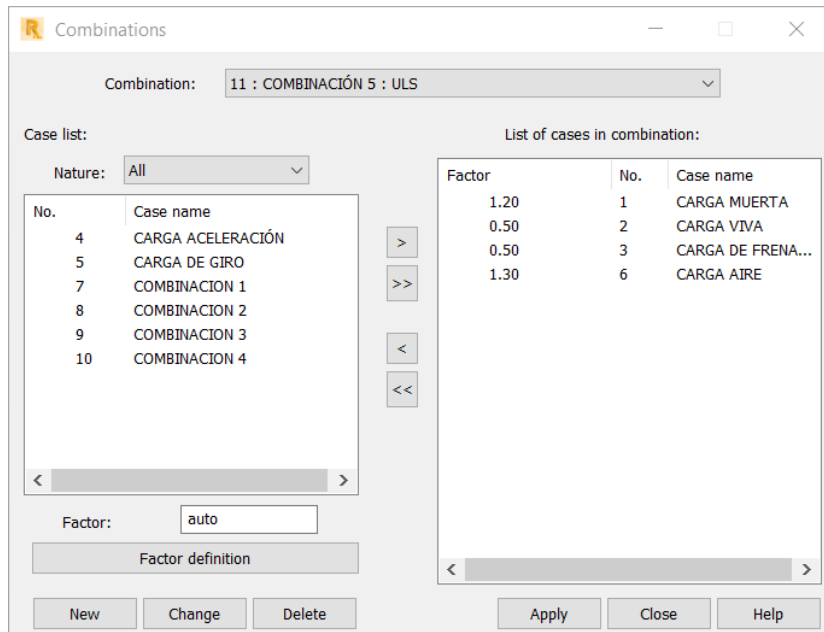
$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 12,19mm$$

Por cumplirse la condición la estructura y cumplir con la norma es válida para la cuarta combinación.

#### 6.1.1.5. Quinta combinación

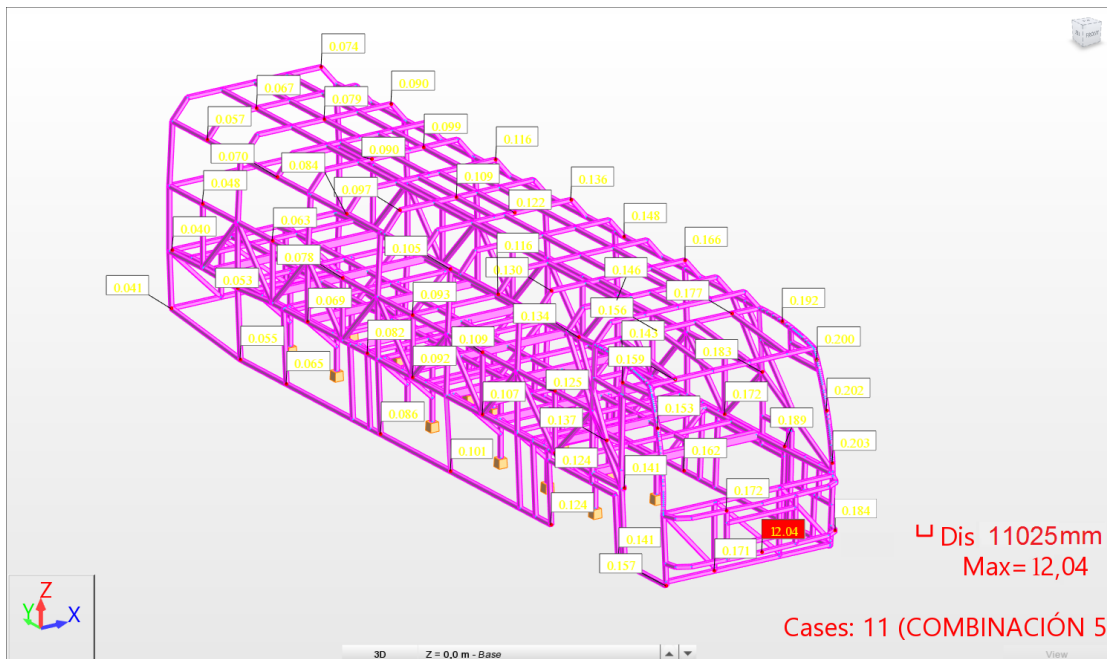
La configuración para la quinta combinación de cargas se muestra en la siguiente figura mediante la ecuación  $1,2M+0,5V+0,5F+1,3Raf$





**Figura 128 Aplicación quinta combinación**

Los resultados obtenidos a partir de la quinta configuración se observan en la figura siguiente:



**Figura 129 Resultados quinta combinación**

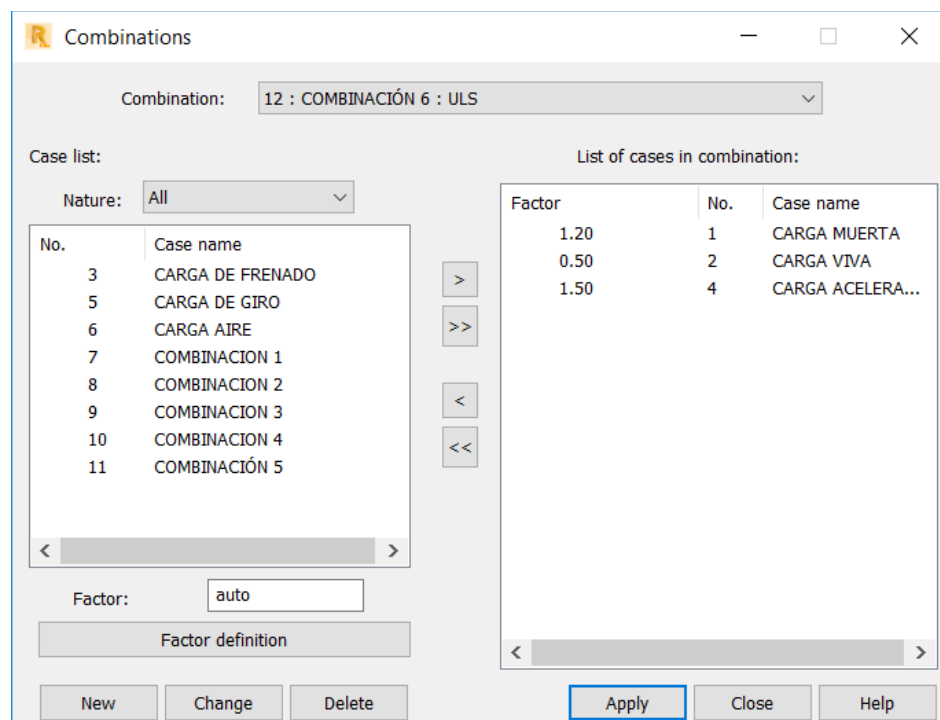
El elemento crítico se encuentra en la parte frontal inferior como se observa en la figura 129 con una deformación de 12,04 mm, por tanto:

$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 12,04mm$$

Por la condición presentada, se valida la carrocería para la quinta combinación por cumplir con la condición de la norma.

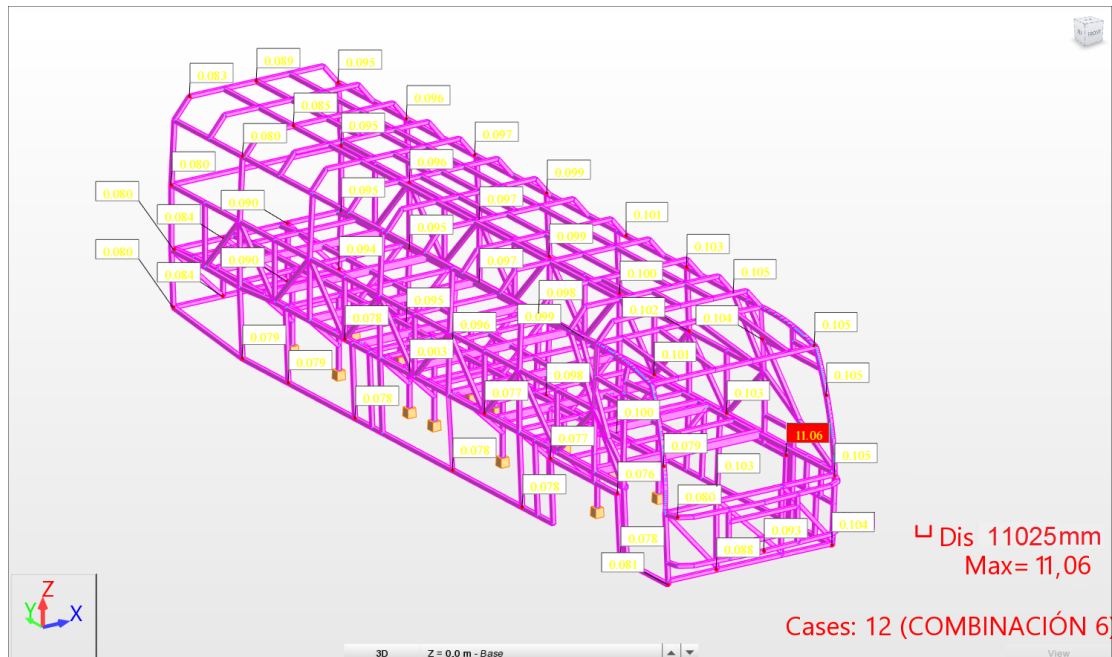
#### 6.1.1.6. Sexta combinación

Para la sexta combinación, la norma exige la siguiente configuración mediante la ecuación  $1,2M+1,5Ab+0,5V$



**Figura 130 Aplicación sexta combinación**

Los resultados obtenidos se muestran en la figura siguiente:



**Figura 131 Resultados sexta combinación**

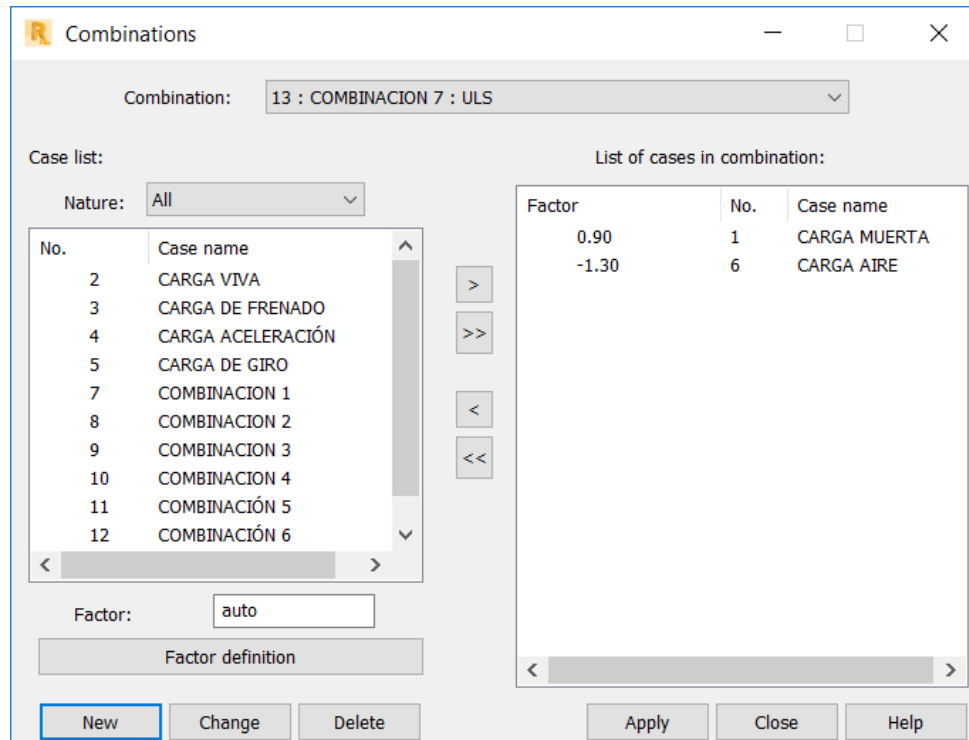
El elemento crítico se encuentra en la parte frontal inferior derecha como se observa en la figura 131 con una deformación de 11,06 mm, siendo así:

$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 11,06mm$$

Se observa que es válida la configuración por cumplir la norma.

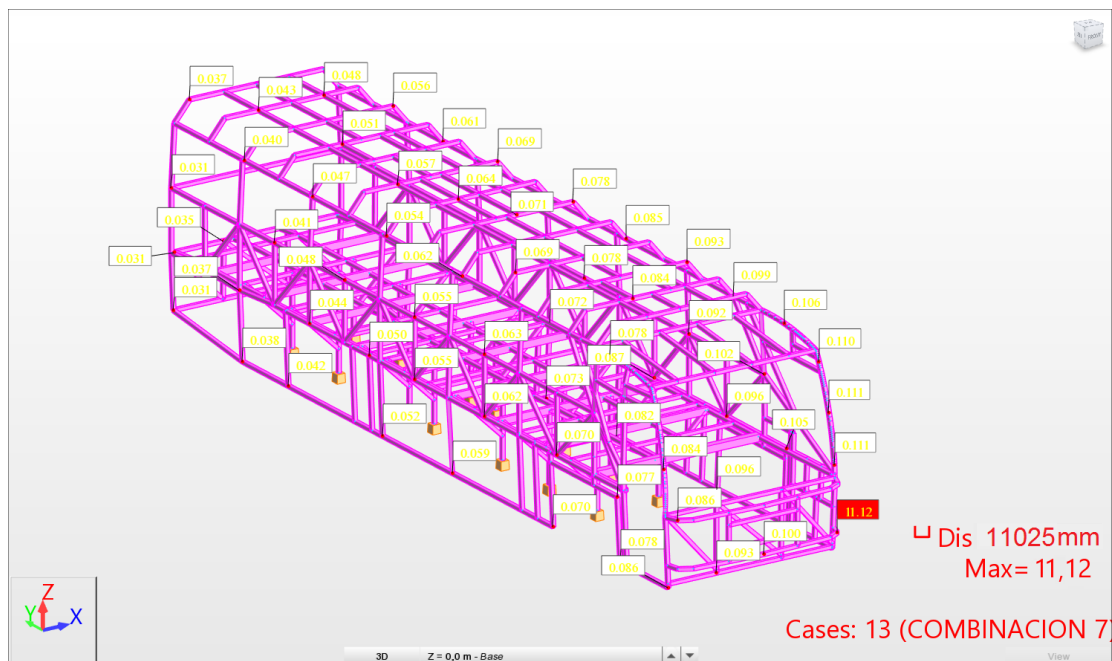
#### 6.1.1.7. Séptima combinación

A continuación, se muestra la séptima combinación de cargas mediante la fórmula  $0,9M-1,3Raf$



**Figura 132 Aplicación séptima combinación**

De este seteo, se obtienen los siguientes resultados:



**Figura 133 Resultados séptima combinación**

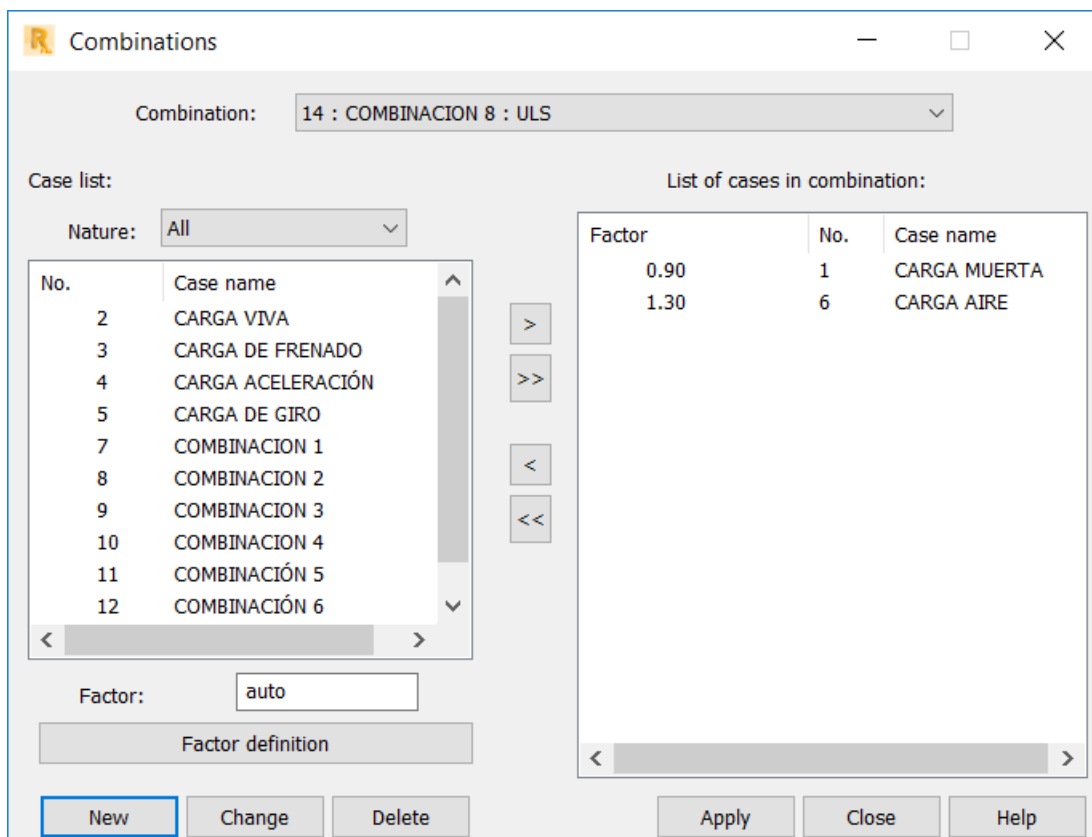
Se observa en la figura 133 que el punto crítico para esta combinación es en la parte frontal derecha inferior cuyo valor de deformación es de 11,12 mm, así:

$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 11,12mm$$

Mediante la relación anterior, se valida la estructura para la combinación siete por cumplir con la norma.

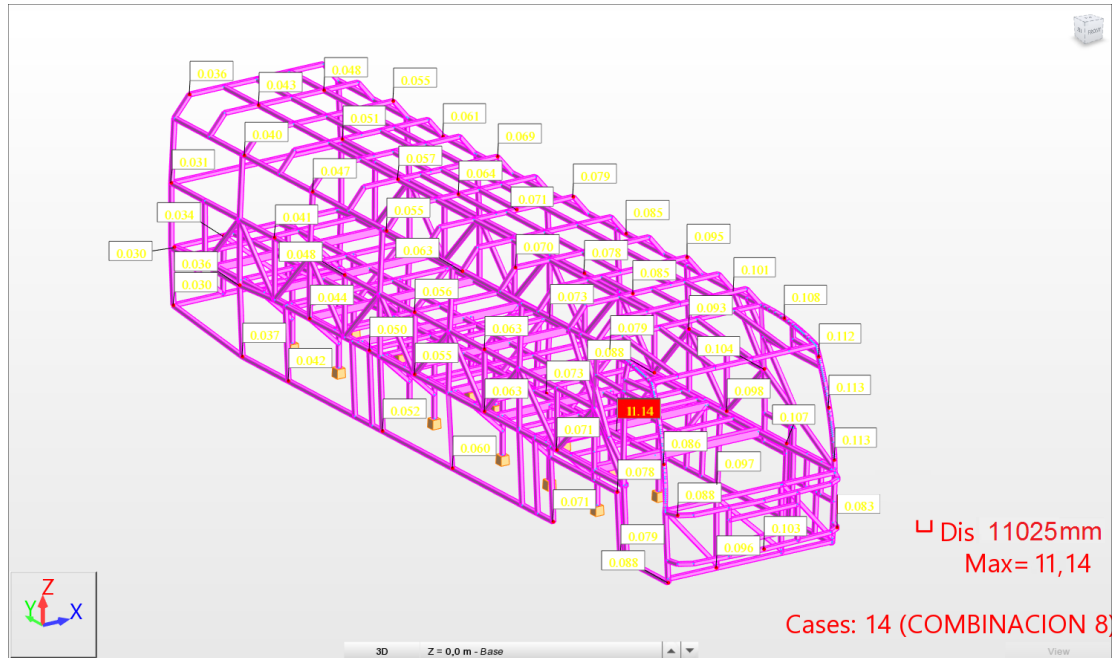
#### 6.1.1.8. Octava combinación

Se muestra a continuación a la octava combinación mediante la fórmula  $0,9M+1,3Raf$



**Figura 134 Aplicación octava combinación**

Los resultados que se obtienen de esta combinación se indican a continuación:



**Figura 135 Resultados octava combinación**

Se aprecia que el elemento crítico se encuentra en la parte lateral superior izquierda, cuyo valor de deformación es de 11,14 mm, así:

$$\frac{11025}{240} = 45,93mm > 11,14mm$$

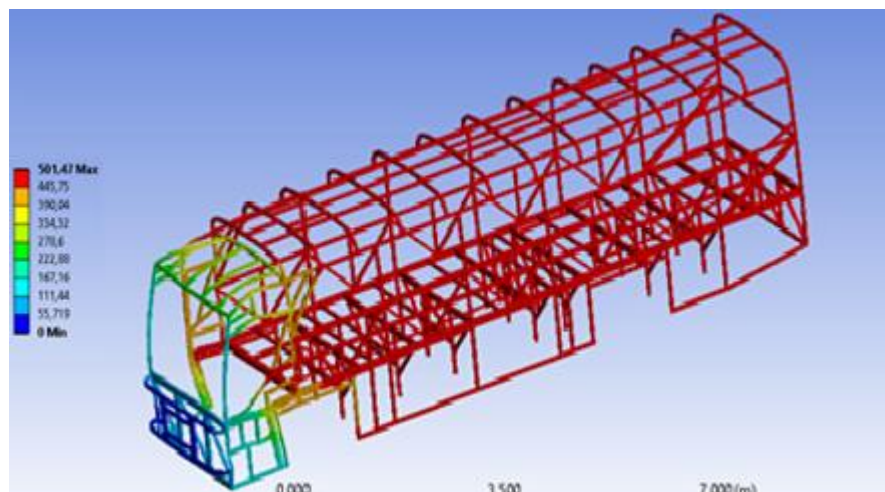
Se verifica que cumple con la norma por lo tanto es adecuada la estructura para esta combinación.

## 6.2. Análisis de resultado simulación de impacto frontal

Una vez que el software ANSYS (versión demo) haya finalizado con el procesamiento de los algoritmos de cálculo se procede a ingresar los archivos generados en el software LS-Prepost resultados mediante gráficas.

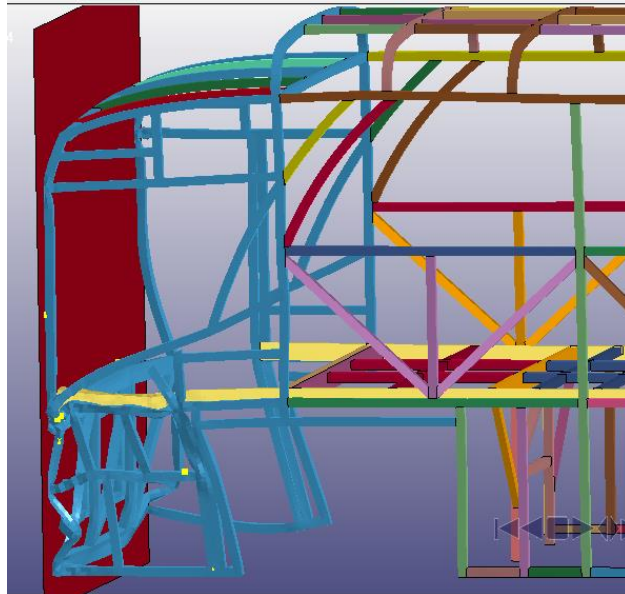
### 6.2.1. Deformación

En la figura 136 se observa la deformación que sufre el frontal del bus, a causa del impacto con la pared rígida siendo la máxima deformación de 502 mm en el tiempo que se estableció de 0,1s. El comportamiento de la deformación obtenido en el presente análisis es similar al estudio presentado por Pattaramon, Supakit, & Burawich (2015).



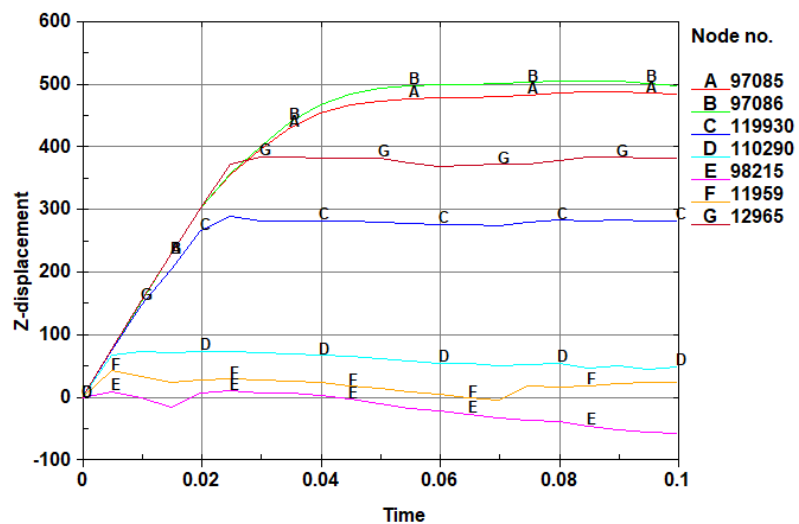
**Figura 136 Deformación de la estructura en Software LSDYNA**

Como se puede observar en la figura 137 los elementos que conforman el parachoques son los que sufren la mayor deformación debido a que dichos elementos son los encargados de absorber la mayor cantidad de energía en el momento que se produce el impacto frontal, a fin de precautelar la integridad del conductor. Ver figura 137.



**Figura 137 Deformación de la estructura en Software LSPREPOST**

A continuación, en la figura 138 se presenta la curva la deformación en el eje Z en el software LS prepost de un grupo de nodos pertenecientes al parachoques del bus debido a que dicha zona se la considera la más crítica

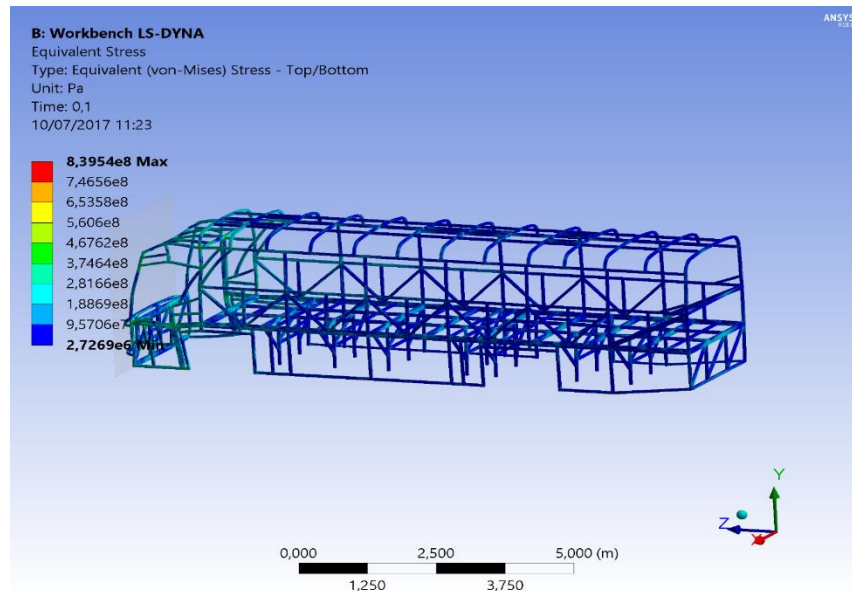


**Figura 138 Diagrama de desplazamiento vs tiempo**



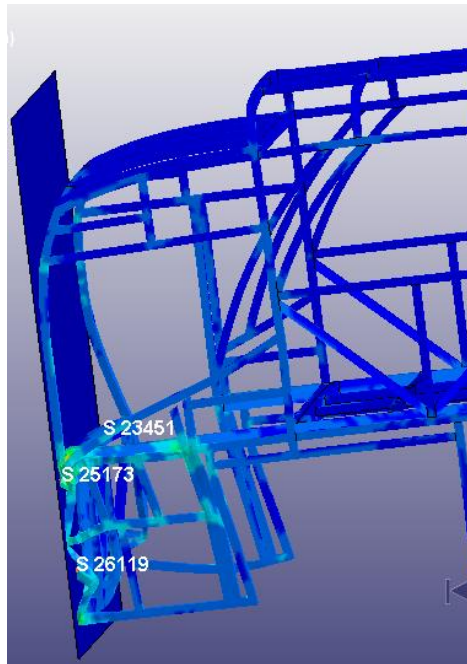
## 6.2.2. Esfuerzos

El valor del máximo esfuerzo equivalente (Von Mises) encontrado es de 839 MPa, lo que da a conocer que el material de la carrocería a colapsado en un determinado momento durante el intervalo del impacto.



**Figura 139 Esfuerzo equivalente en el software LSDYNA**

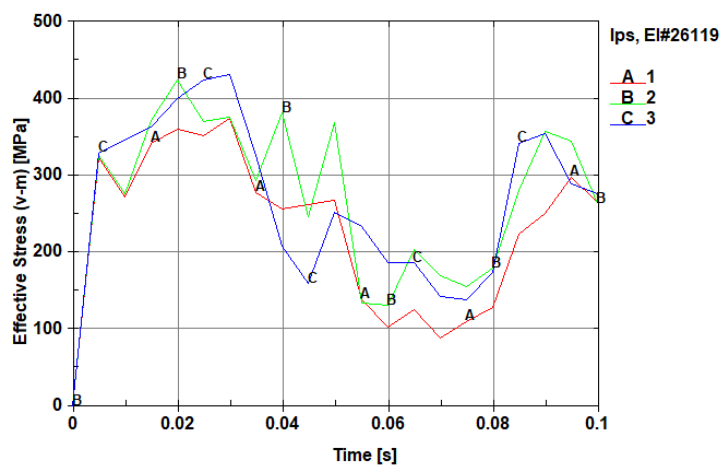
Debido que la parte frontal del bus es la zona más crítica al momento del impacto se procede a seleccionar una muestra de elementos del parachoques y se presentan las siguientes gráficas



**Figura 140 Selección de elementos en la zona del parachoques**

Como se puede verificar en la figura 141 el comportamiento de los elementos de muestra es similar alcanzando valores cercanos a los 450 MPa, dando a entender que los elementos seleccionados presentan una deformación plástica.

En virtud que los elementos presentan un comportamiento similar se descarta la posibilidad de dispersión de datos por defecto de malla según a un estudio previo de acuerdo a Cepeda & Barragan, (2016)

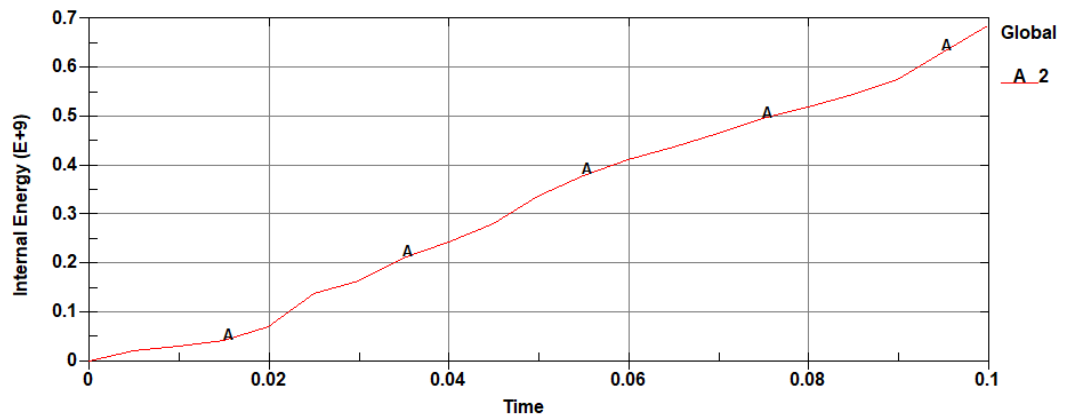


**Figura 141 Diagrama Esfuerzo equivalente vs tiempo**

### 6.2.3. Análisis de energía interna y energía Hourglass

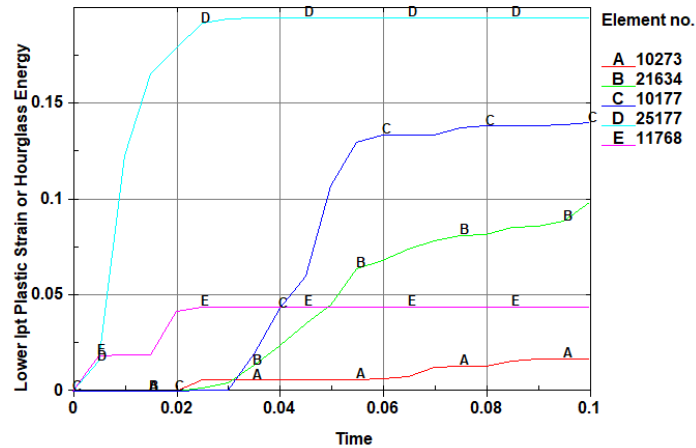
Para validar el proceso de simulación de debe verificar la relación del valor obtenido de la energía Hourglass versus la energía interna, ya que como se explicó anteriormente la energía Hourglass debería tender a ser una energía cero, que no influencia en el método de estudio. Si la energía de Hourglass es menor al 10% de la energía interna la solución es aceptable. (Salazar & Villacrés, 2017)

En la figura 142 se observa que la energía interna tiene un valor máximo de  $0,7E+9$  Joules en el tiempo de  $0,1s$



**Figura 142 Diagrama Energía interna vs Tiempo**

Como se visualiza en la figura 143 el valor de la energía Hourglass está por los  $0,19$  Joule y para validar el resultado se procede a comparar las dos energías



**Figura 143 Diagrama Energia Hourglass vs Tiempo**

Posteriormente se procede a calcular el porcentaje de energía Hourglass respecto a la energía interna.

$$\text{Hourglass} = 0,19 \text{ J}$$

$$\text{Energía Interna} = 700000000 \text{ J}$$

$$H = \frac{\text{Hourglass}}{\text{Energía interna}} \times 100\%$$

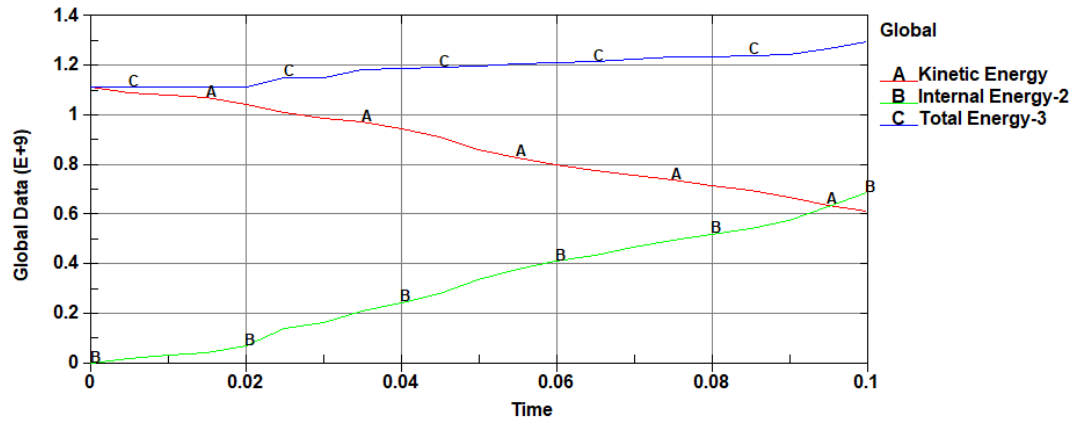
**Ec. 19**

$$H = \frac{0,19}{700000000} \times 100\%$$

$$H = 0,00000002714\%$$

Se observa que el valor obtenido es menor al 10% por lo tanto el análisis se considera como válido.

La energía total generada en el estudio se mantiene constante, antes y después del estudio debido al principio de conservación de energía, lo que indica que la energía generada por el impacto se transforma en energía de deformación o también llamada energía interna en el presente estudio.



**Figura 144 Diagrama de energía durante la simulación del impacto**

### 6.3. Análisis de resultados simulaciones aerodinámicas

Mediante el resumen de los valores aerodinámicos que se encuentran en la siguiente tabla se generará el análisis de los coeficientes aerodinámicos y de potencia.

**Tabla 49  
Comparación de resultados**

| Variables                        | Unidades | Bus original | Bus con dos alerones | Bus con deflector |
|----------------------------------|----------|--------------|----------------------|-------------------|
| Fuerza de arrastre (Fx)          | [N]      | 2043,260381  | 2103,397504          | 2258,818039       |
| Fuerza de sustentación (Fz)      | [N]      | 866,0453682  | 994,8635736          | 998,6015103       |
| Coeficiente de arrastre (Cx)     |          | 0,621331276  | 0,639618997          | 0,69668833        |
| Coeficiente de sustentación (Cz) |          | 0,263354136  | 0,302526574          | 0,303664434       |
| Potencia (Pot)                   | [W]      | 51081,50954  | 52584,9376           | 56470,45098       |

### **6.3.1. Coeficiente de arrastre**

El coeficiente de arrastre del bus original es de 0,62 siendo un valor que está por debajo del límite establecido por la norma NTE INEN 1323:2009 en el cual se indica que el valor mínimo debe ser de 0,7. Es por eso que con el fin cumplir con la norma se modificó la geometría del bus mediante la implementación de alerones y deflectores. Además, dichos elementos permitirán reducir las zonas de turbulencia e incrementar el coeficiente de sustentación haciendo que el bus sea más estable.

En el bus con dos alerones se logró incrementar el coeficiente de arrastre de 0,62 a 0,63 y eliminar zonas de turbulencia que se generaban en la parte superior del bus. Sin embargo, no se logró cumplir con lo establecido por la norma.

Mediante la implementación del deflector delantero se incrementó el coeficiente de arrastre de 0,62 a 0,696 siendo un valor considerado como válido de acuerdo a lo establecido en la norma, también con la implementación del deflector se logró reducir las zonas de turbulencia alrededor del aire acondicionado ya que está cubierto por el deflector, haciendo que dicho elemento sea la mejor propuesta generada.

### **6.3.2. Coeficiente de sustentación**

Como se observa en la tabla el coeficiente de sustentación del bus original es de 0,263, dicho coeficiente es bajo por lo que con la implementación de los dos alerones en la primera propuesta se logró incrementar a 0,3025 y mediante el uso del deflector se consiguió un incremento a 0,3036, permitiendo que el bus tenga una mayor estabilidad con esta alternativa.

### **6.3.3. Potencia**

En el modelo original el bus necesita de 51082 W (68,5 HP) para vencer la resistencia del aire, sin embargo, en vista que el modelo original no cumple con lo establecido en la norma con respecto al coeficiente de arrastre fue necesario optar por accesorios para lograr obtener el coeficiente de arrastre adecuado.

Con el bus con dos alerones se obtuvo una potencia de 52585 W (70,52 HP) con lo que se incrementó en 2,02 HP para vencer la resistencia del aire, pero el coeficiente de arrastre no es el establecido por la norma.

Mediante la utilización del deflector se incrementó la potencia a 56470 W (75,727 HP) siendo un incremento de 7,227 HP respecto al modelo original. Además, el coeficiente de arrastre es el valor más próximo a lo establecido por la norma.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- La información necesaria para realizar el análisis de la estructura y los diferentes cálculos estáticos y dinámicos fueron facilitados por medio de la empresa Carrocerías Olímpica Quito
- El análisis estático, se determinó que todas las ocho combinaciones mediante el método LRFD cumplen con la Norma NTE INEN 1332:2009, donde la deformación elástica es menor a 1/240 veces su longitud, siendo la mayor deformación de 12,64mm en un elemento estructural.
- El impacto frontal se lo realizó utilizando las condiciones de ensayo de la normativa NCAP que establece que la velocidad del vehículo es de 64 Km/h ante una pared rígida
- El comportamiento de la estructura de la carrocería para un bus interprovincial de la empresa Olímpica Quito, en el cual la deformación máxima es de 501mm, siendo esta aceptable de acuerdo a estudios previos similares.
- La simulación del ensayo de impacto se la considera válida ya que la energía Hourglass cumple con lo establecido que debe ser menor al 10% de la energía interna.
- El coeficiente de arrastre por debajo de lo establecido por la norma NTE INEN 1323:2009 por lo cual se desarrollaron dos alternativas, logrando alcanzar con una de ellas el valor establecido.
- Se realizó el prototipado en 3D del autobús y de los alerones a una escala de 1:200 la cual es aceptable de acuerdo a la norma CPE INEN 003



- Se construyó el túnel de viento en base a estudios realizados previamente, además se diseñó el circuito de control mediante un acondicionamiento de señal basada en la amplificación del integrado LM324 para que los sensores funcionen correctamente y amplifiquen la señal obtenida en las pruebas, generando una ganancia de 112 veces, de tal manera que el voltaje genera una señal de 0 a 330 mV y gracias a la amplificación el voltaje obtenido es de 0 a 5V.
- Se realizó un programa en Labview Instruments mediante el uso de sus librerías para poder analizar los datos obtenidos de los sensores e interpretarlos de mejor manera.
- El análisis aerodinámico en el túnel de viento del modelo de bus y sus dos prototipos, obteniendo como resultado que en el prototipo con el deflector es el mejor ya que cumple con el coeficiente de arrastre establecido por la norma NTE INEN 1323:2009.
- El análisis en el túnel de viento los tres diseños, obteniendo valores muy similares a los valores generados en el análisis computacional mediante el software de diseño, lo que nos determina que se puede ocupar dicho túnel de viento para análisis de prototipos a escala.
- Se redujo el número de valores obtenidos en las pruebas del túnel de viento mediante la ayuda del diagrama BoxPlot debido a que no todos los valores son reales, lo que ocasionaría un mal análisis del mismo, luego de separar los valores atípicos de los verdaderos se procedió al análisis de los mismos.
- El incremento de la potencia necesaria para vencer la resistencia del aire es de 7,227 HP con respecto al modelo original, sin embargo, se logró incrementar el coeficiente de sustentación haciendo que el bus sea más estable.

## RECOMENDACIONES

- Luego de realizar el modelado de la estructura de cualquier objeto se debe verificar que no existan errores en los elementos estructurales ya que al momento de exportar al software de análisis no se podrá realizar el estudio.
- Verificar todos los valores a ser ingresados al momento de empezar con el análisis estático en el software de diseño, debido a que se puede obtener valores incorrectos y realizar un mal análisis del mismo.
- Al momento de realizar estudios con el software ANSYS se recomienda dibujar el objeto a ser estudiado en un complemento del mismo software con la finalidad de evitar posibles conflictos al momento de realizar el estudio.
- Realizar estudios pertinentes con la finalidad de generar una norma que permita a la industria carrocera guiarse bajo una normativa acorde a las condiciones del país ya que para realizar las simulaciones de impacto en la actualidad se basan en normas internacionales.
- Se debe verificar que los circuitos eléctricos se encuentren funcionando correctamente para que no existan valores irracionales al momento de realizar las pruebas en el túnel de viento.
- Se recomienda que para futuros estudios los cables de los sensores sean lo más cortos posibles ya que como los sensores generan valores en el rango de milivoltios, mientras mayor sea la longitud del cable se necesitará generar mayor ganancia en el circuito de acondicionamiento.

**BIBLIOGRAFIA**

- Agencia Nacional de Tránsito. (2016). *Siniestros*. Ecuador: Dirección de Estudios y Proyectos.
- Andrade, L., & Méndez, P. (2012). *Studio del diseño de una carrocería con análisis de esfuerzos estáticos y dinámicos de un autobús de la marca Patricio Cepeda calificada con norma ISO 9001-2008 mediante la aplicación de un software para el cálculo de las fuerzas*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
- ANSYS, I. (2015). *LS-DYNA® Keyword user's manual*. California: Livermore Software Technology Corporation.
- Bermeo, J., Siguencia, D., & Serpa, P. (2012). *Diseño y construcción de un túnel de viento para análisis aerodinámicos en vehículos a escala*. Universiada Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.
- Carnicero, A. (2001). *Introducción al método de los elementos finitos*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Celigüeta Lizarza, J. (2008). *Método de elementos finitos para análisis estructural*. San Sebastián: UNICOPIA C.B.
- Cepeda Miranda, J. L. (2006). *Análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús Feline para la empresa Carrocera Miral buses*. ESPE, Sangolquí.
- Cepeda, A., & Barragan, A. (2016). *Diseño y simulación estructural frontal del bus alfa 700 en la empresa metálicas pillapa para transporte interprovincial en el campo no-lineal mediante Ansys*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba
- Electrotekmega. (2014). *Electrotekmega*.
- Escuela de ingeniería de antoquia. (2009). *Mecánica de fluidos y recursos hidráulicos*.
- Esmeraldas, C. (2016). *Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y*

- materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros.*  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
- Francis (th)E mule Science's News. (2013).
- Garcia, N. (2009). *Simulación de un Proceso de Embutición Mediante ANSYS LS-DYNA.* Universidad Carlos , F. D. Mecánica, Madrid.
- Giles, R. V. (1991). *Mecánica de fluidos e hidráulica.* México, D. F.; México: McGraw-Hill.
- Gómez Morales, T., Navarro, J. M., Águeda Casado, E., Gracia, J. G., & García Jiménez, J. L. (2009). *Elementos estructurales del vehículo.* Madrid: Paraninfo.
- Guan, x., zhang, c., & wang, s. (2004). *Virtual Instrument Software Labview and Data Acquisition.* Microcomputer Development.
- Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de Materiales.* Prentice Hall.
- Illescas Pérez, D. (2009). *Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera.* Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Instituto de investigación sobre reparación de vehículos. (2003). *El habitáculo de seguridad.* Madrid: Editorial centro Zaragoza.
- Instituto ecuatoria de normalización. (2012). *Norma tecnia ecuatoriana NTE INEN 2656:2012. Primera.* Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
- Livermore Software Technology Corporation (LSTC). (2012).
- Lopez, S. (2016). *Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finitos.* Ambato.
- Mccormac, J. (1999). *Diseño de estructuras metálicas método ASD.* México, D. F.; Alfaomega.
- Mccormac, J. (2002). *Diseño de Estructuras De Acero método LRFD.* México, D. F.; Alfaomega.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos.* En R. Mott, *Mecánica de fluidos* (Sexta ed., pág. 644). México, D. F.; Pearson.

- Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales*. Buenos Aires: Pearson Prentice Hall.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Máquinas*. México, D. F.; Prentice Hall.
- NTE INEN 1323. (2009). *Vehiculos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos*. Quito: INEN.
- Pattaramon, J., Supakit, S., & Burawich, M. (Agosto de 2015). Improvement of Crashworthiness of Bus Structure under Frontal. *The 2015 World Congress on Advances in Strutral Engineering and Mechanics (ASEM15)*.
- Pineda Maigua, D. P., & Vega Santillan, W. H. (2010). *Diseño y construcción de un túnel de viento subsónico con sistema de adquisición de datos para el estudio de la aerodinámica de los vehículos*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, Latacunga.
- Pope, A. (1965). *High-Speed Wind Tunnel Testing*. New Mexico, EEUU: John Wile & Sons, Inc.
- Rodríguez Prado, D., & Álvarez López, J. (2009). *Los crash test*. Centro Tecnológico de Automoción de Galicia.
- RTE INEN 043. (2010). *Bus interprovincial e intraprovincial*. INEN. Quito.
- Salazar, J., & Villacrés, I. (2017). *Diseño y modelización del proceso de embutición del protector metálico para el tanque de combustible del Chevrolet SZ mediante el método de elementos finitos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Salazar, M., & Yáñez, J. (2005). *Diseño y construcción de un chasis tubular bilplaza*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE . Latacunga
- Santamaria, J., & Calero, J. (2012). *Análisis de las propiedades aerodinámicas, efecto suelo y su aplicación en vehículos convencionales específicamente en el Chevrolet Aveo sedán como forma para aumentar la seguridad activa*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
- Seegerind, L. (1984). *Applied Finite Element Analysis* (Segunda ed.). Michigan, Estados Unidos: Jhon Wiley and Sons.

- Shigley, E. (2004). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Michigan: Mc Graw - Hill,.
- Smits, A. J. (2003). *Mecánica de fluidos una introducción física*. México D.F., México: Alfaomega.
- Streeter, V., & Wylie, E. (1995). *Mecánica de los fluidos* (Octava ed.). Naucalpan de Juárez: McGraw-Hill.
- Tena, D., Ramírez, N., & Garibaldi, J. (2016). *Clasificación de señales electromiográficas mediante la configuración de una Red Neurona Artificial*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez.
- Zienkiewicz, O., & Taylor, R. (2005). *The finite Element Method for Solid and*. Elsevier Butterworth-Heinemann.

## **NETGRAFIA**

- Academia ingnova. (2016). *Cálculo de estructuras con Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2016. Obtenido de <https://academia.ingnova.es/cursos-online/estructuras/201-curso-autodesk-robot>
- Álvaro, O. (2012). Recuperado el 20 de Septiembre de 2016. Obtenido de <http://ortizalvarosua12.blogspot.com/2012/10/tipo-de-carrocerias.html>
- Aquiecuadortravel. (2017). *Aquiecuadortravel*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016. Obtenido de [http://www.aquiecuadortravel.ec/transporte\\_turistico\\_riobamba\\_ecuador.html](http://www.aquiecuadortravel.ec/transporte_turistico_riobamba_ecuador.html)
- Automóviles, B. D. (4 de Agosto de 2011). Blog de Automóviles. Recuperado el 30 de Septiembre de 2016. Obtenido de [http://blogdeautomoviles.com/carroceria\\_con\\_plataforma-de-chasis/](http://blogdeautomoviles.com/carroceria_con_plataforma-de-chasis/)
- Buses Ecuador*. (2010). Recuperado el 2 de Octubre de 2016. Obtenido de [http://www.busecuador.com/uploads/1/3/5/2/13525230/8566008\\_orig.jpeg](http://www.busecuador.com/uploads/1/3/5/2/13525230/8566008_orig.jpeg)
- Carrocerias Olimpica Quito*. (2017). Recuperado el 15 de Octubre de 2016. Obtenido de <http://carroceriasolimpicaquito.com/>
- Castillo, M. (2009). *Tipos de crash test*. Zaragoza: Centro Zaragoza.

- CDE. (2015). Recuperado el 20 de Octubre de 2016. Obtenido de <http://cde.gestion2.e3.pe/ima/0/0/0/3/5/35733.jpg>
- Chagoyén, C. (Octubre de 2012). *Scielo*. Recuperado el 25 de Octubre de 2016. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442013000200009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1815-59442013000200009)
- Chasis. (s.f.). Recuperado el 29 de Octubre de 2016. Obtenido de [http1.bp.blogspot.com-w6Ma5Nc-djuut8sx2m3mwiaaaaaaaaaadi3rr\\_3z8mwcgs16004.png](http1.bp.blogspot.com-w6Ma5Nc-djuut8sx2m3mwiaaaaaaaaaadi3rr_3z8mwcgs16004.png)
- Chávez, C. (18 de Junio de 2016). *Docslide*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://docslide.com.br/documents/estudio-del-diseno-de-una-carroceria-de-autobus.html>
- Club Mazda Venezuela. (2016). Recuperado el 10 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://www.clubmazdavenezuela.com/index.php/publicaciones/87-mecanicos/170-lo-que-debemos-saber-sobre-los-chasis-automotrices>
- Docplayer. (2017). Recuperado el 13 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://docplayer.es/490509-Simulacion-de-un-choque-frontal-de-un-vehiculo-automovil-contra-diferentes-tipos-de-barrera.html>
- Ecuador inmediato. (06 de Febrero de 2006). *El periodico instantaneo del ecuador*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016. Obtenido de [http://www.ecuadorinmediato.com/Noticias/news\\_user\\_view/hoy\\_quito\\_carrocerias\\_de\\_buses\\_son\\_un\\_peligro\\_para\\_pasajeros\\_de\\_ecuador-28597](http://www.ecuadorinmediato.com/Noticias/news_user_view/hoy_quito_carrocerias_de_buses_son_un_peligro_para_pasajeros_de_ecuador-28597)
- Estevan, A. (5 de junio de 2001). *Los accidentes de tránsito*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n19/aaest2.html>
- Euroncap. (2017). Euro NCAP. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016. Obtenido de <https://www.euroncap.com/es>
- García, A. (23 de Enero de 2013). *Panamahitek*. Recuperado el 17 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>

- Hindawi. (2013). Recuperado el 20 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://www.hindawi.com/journals/mpe/2013/276304/fig1/>
- Insurance Institute for Highway Safety. (2017). *Insurance Institute for Highway Safety*. Recuperado el 1 de Enero de 2017. Obtenido de <http://www.iihs.org/iihs>
- Inteligencia artificial*. (2014). Recuperado el 21 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://www.inteligenciaartificialyrobotica.com/esp/item/134/7/index.php>
- Lara, P. (2012). *Puente Lara*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://puentelara.blogspot.com/2012/10/tipos-de-carroceria-componentes.html>.
- Leon, D. (2013). *Scribd*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/178643636/proyecto-carrocerias>
- Marín, V. (2009). *Escuela de Ingeniería de Antioquia*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujodegases/tuneldeviento/tuneldeviento.html>
- Ministerio del Interior. (5 de Febrero de 2013). *Ministerio del Interior*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://www.ministeriointerior.gob.ec/siat-alerta-causas-de-accidentes-de-transito-en-invierno/>
- National instruments*. (2017). Recuperado el 2 de Enero de 2017. Obtenido de [http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html?Icid=HP\\_](http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html?Icid=HP_)
- Networks, A. (2017). *Arpen Networks*. Recuperado el 4 de Enero de 2017. Obtenido de <http://www.arpem.com/coches/coches/mercedes/slr/fotos/2004/2p-aerodinamica-2.html>
- NTE INEN 2656. (2012). *Clasificación vehicular*. Quito: INEN. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016. Obtenido de [normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/2656.pdf](http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/2656.pdf)
- Saldivia*. (2013). Recuperado el 1 de Diciembre de 2016. Obtenido de <http://saldiviabuses.com.ar/2013/08/aries-365-gt-dos-ejes/>



- Static Photaki.* (s.f.). Recuperado el 2 de Diciembre de 2016. Obtenido de [www.static.photaki.com](http://www.static.photaki.com)
- Teleamazonas.* (07 de 2016). Recuperado el 5 de Diciembre de 2016. Obtenido de <http://www.teleamazonas.com/2016/07/mas-biarticulados-se-suman-al-transporte-publico-quito/>
- Toyota.* (2017). Recuperado el 26 de Enero de 2017. Obtenido de <http://toyotadidea.com/vehiculo/comercial/hiace/>
- Transporte carretero.* (2014). Recuperado el 23 de Noviembre de 2016. Obtenido de [http://www.transportecarretero.com.uy/cache/com\\_zoo/images/torinomotortraseiro\\_661a675d8457baccac24a3b225491739.jpg](http://www.transportecarretero.com.uy/cache/com_zoo/images/torinomotortraseiro_661a675d8457baccac24a3b225491739.jpg)
- U.S. Department of Transportation. (2015). *National Highway Traffic Safety Administration.* Recuperado el 27 de Enero de 2017. Obtenido de <https://www.nhtsa.gov/about-nhtsa>

# **ANEXOS**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:

**CARLOS VINICIO BELTRÁN HERRERA Y JOSÉ OMAR GARRIDO VILLACÍS**

En la ciudad de Latacunga, a los **10 días del mes de agosto de 2017.**

**Aprobado por:**

