

Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención en Fabricación De Autopartes De Vehículos

“ESTUDIO COMPARATIVO DE ENSAYOS FÍSICOS VS MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS DEL COMPORTAMIENTO TENSO-DEFORMACIONAL DE ACEROS ESTRUCTURALES EN TUBOS CUADRADOS DE 50X50X3, EN EL SECTOR CARROCERO”

Ing. Álex Tipán Suarez

Nota del Autor

Álex Tipán Suarez, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Javier Martinez, M.Sc,

Codirector: Ing. Julio Leguisamo M.Sc

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

[atipan.mdm@uisek.edu.ec](mailto:atipan.mdm@uisek.edu.ec)

### DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Alex Mauricio Tipán Suárez, con cédula de identidad 1715577852, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Internacional SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Alex Tipán

CI: 1715577852

## Resumen

El estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos del comportamiento tenso-deformacional de aceros estructurales en tubos cuadrados de 50x50x3, en el sector carrocerero, permite mejorar el diseño de las cerchas de los autobuses mediante la selección correcta de los materiales, caracterizando el material correcto, simulando el comportamiento del material, centrándose su estudio en un paradigma de enfoque cuali-cuantitativo, en base a un entorno natural adecuado, generando resultados de Ensayos de Tracción, similares los físicos con los originados por el Método MEF, dando valores como son Esfuerzos de 407.127 MPa y de Desplazamiento de 3mm con un error del 0.2628 al 3% de los producidos por el MEF; en tanto que los Ensayos de Flexión se dan Esfuerzos de hasta 9.287530 MPa y de Desplazamiento 2.58 mm ejecutándose en un error que varía del 5.72 % al 2.32 %, validándolos con análisis de tipo analíticos en los Ensayos de Tracción un Error de 1.58% al 2.40%; mientras que en los Ensayos de Flexión se dan error de 5.87% hasta el 9.2%, ubicándose dentro de los rangos permitidos, analizándose continuamente el Factor de Seguridad FDS con el A36: 2.6, con el AISI 1015: 6, con el Galvanizado: 4.4 y con el Acero Aleado da 6.4, en base a desplazamientos originados con el A36 2.51 mm, con el AISI 1015 36.32 mm; con el Galvanizado 5.587 mm y con el Acero Aleado 3.362 mm, mejorando los datos comparados con investigaciones como de Pozo (2014), el desplazamiento máximo es de 19.5 mm con un esfuerzo de 305.1 MPa, mientras que en nuestra investigación se da 14.5 mm, con un esfuerzo de 8722 MPa.

**Palabras claves:** Comportamiento tenso-deformacional, método MEF, enfoque cuali-cuantitativo, ensayos de tracción, factor de seguridad, ensayos de flexión.

## ABSTRACT

The comparative study of physical tests vs. finite element methods of the tensile-deformational behavior of structural steels in 50x50x3 square tubes, in the car body sector, allows to improve the design of bus trusses through the correct selection of materials, characterizing the Correct material, simulating the behavior of the material, focusing its study on a paradigm of qualitative-quantitative approach, based on a suitable natural environment, generating results of Traction Tests, similar to physical ones with those originated by the MEF Method, giving values such as Efforts of 407,127 MPa and Displacement of 3 with an error of 0.2628 at 3% of those produced by the MEF; while the Flexion Tests give Efforts of up to 9.287530 MPa and 2.58 mm Displacement, executing in an error that varies from 5.72 % to 2.32%, validating them with an analytical type analysis in the Tensile Tests an Error of 1.58% to 2.40 %; while in the Flexion Tests, an error of 5.87% up to 9,2% is given, being within the permitted ranges, continuously analyzing the Safety Factor SDS with the A36: 2.6, with the AISI 1015: 6, with the Galvanized: 4.4 and with Alloy Steel gives 6,4, based on displacements originated with the A36 2,51 mm, with the AISI 1015 36.2 mm; with the Galvanized 5.587mm and with the Alloy Steel 3.362 mm, improving the data compared to investigations such as de Pozo (2014), the maximum displacement is 19.5 mm with an effort of 305.1 MPa, while in our investigation there is 14.5 mm, with an effort of 8722 MPa.

**Keywords:** Tensile - deformational behavior, MEF method, qualitative - quantitative approach, tensile tests, safety factor, flexural tests.

**Índice de Contenido**

<b>DECLARACIÓN JURAMENTADA</b> .....	2
<b>Resumen</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>Índice de Contenido</b> .....	5
<b>Índice de Tablas</b> .....	8
<b>Índice de Figuras</b> .....	9
<b>Introducción</b> .....	15
<b>Antecedentes</b> .....	15
<i>Ensayos Físicos y por el Método de Elementos Finitos</i> .....	17
<b>Justificación</b> .....	18
<b>Estado del Arte</b> .....	21
<b>Investigaciones previas</b> .....	21
<b>Sector carrocerero en el Ecuador.</b> .....	22
<i>Carrocería</i> .....	22
<i>Elementos que constituyen una carrocería.</i> .....	23
<i>Puntos críticos de la carrocería.</i> .....	24
<b>Mecánica de los materiales</b> .....	32
<i>Resistencia de materiales.</i> .....	32

<i>Criterios de selección de materiales.</i> .....	35
<b>Método</b> .....	36
<b>Tipo de estudio</b> .....	36
<b>Modalidad de investigación</b> .....	36
<b>Diseño de la geometría.</b> .....	37
<i>Mecánica de los materiales.</i> .....	37
<i>Análisis de esfuerzos cortantes, de flexión y de desplazamiento en Y</i> .....	38
<b>Población y Muestra.</b> .....	41
<b>Selección de instrumentos de investigación.</b> .....	42
<b>Validez y confiabilidad de los instrumentos.</b> .....	42
<b>Materiales</b> .....	42
<b>Diseño e Implementación</b> .....	43
<i>Análisis de Tracción</i> .....	48
<i>Análisis de Flexión</i> .....	53
<b>Análisis de Laboratorio</b> .....	62
<b>Flexión</b> .....	62
<b>Tracción</b> .....	64
<b>Resultados</b> .....	65
<b>Resultados de Ensayos de Tracción por MEF</b> .....	65

<b>Resultados de Ensayos de Tracción Físicos.....</b>	<b>66</b>
<b>Resultados de Ensayos de Flexión por MEF .....</b>	<b>69</b>
<b>Resultados de Ensayos de Flexión Físicos .....</b>	<b>70</b>
<b>Cálculos de ensayos de Flexión.....</b>	<b>73</b>
<b>Cálculos de ensayos de tracción .....</b>	<b>74</b>
<b>Diseño de carrocerías por el Método LRFD (Load Resistance Factor Design).....</b>	<b>76</b>
<b>Análisis y discusión de resultados .....</b>	<b>89</b>
<b>Ensayos de Tracción.....</b>	<b>89</b>
<b>Ensayos de Flexión .....</b>	<b>92</b>
<b>Selección por material .....</b>	<b>95</b>
<b>Selección por tipo de material .....</b>	<b>98</b>
<b>Análisis del sistema estructural del autobús FELINE .....</b>	<b>103</b>
<b>Análisis del sistema estructural de superestructuras de autobuses .....</b>	<b>105</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>108</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>110</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>114</b>

**Índice de Tablas**

Tabla 1 Producción mundial en millones de litros.....	17
Tabla 2 Valor $Z_{\alpha}$ .....	41
Tabla 3 Valor $Z_{\beta}$ .....	41
Tabla 4 Símbolos y designaciones .....	43
Tabla 5 Dimensiones de probetas .....	44
Tabla 6 Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera.....	78
Tabla 7 Comparación de resultados de Tracción ensayados físicos, analíticos y por el MEF.....	90
Tabla 8 Comparación de resultados de Flexión ensayados físicos, analíticos y por el MEF.....	93
Tabla 9 Comparación de resultados de ASTM A36, con Tubo Cuadrado de 50x50x3 y 50x50x1.5 . .	95
Tabla 10 Comparación de resultados de tipo de materiales.....	100
Tabla 11 Resultados de esfuerzos. ....	104
Tabla 12 Resultados de Pozo. ....	106
Tabla 13 Resultados de Cepeda. ....	106
Tabla 14 Resultados comparativos de varios ensayos. ....	106

**Índice de Figuras**

Figura 1. Cuadrantes de Colisión.....	17
Figura 2. Gráfico Tensión Vs Deformación.....	18
Figura 3. Modelo de la superestructura del autobús. ....	23
Figura 4. Esfuerzo en MPa por carga de vuelco a la derecha. ....	24
Figura 5. Interacción de diseño de elementos con densidad.....	24
Figura 6. Deformación de la cercha superior según el método LRFD.....	25
Figura 7. Deformación de los anclajes de los asientos según el método LRFD. ....	25
Figura 8. Deformación de la carrocería según el método LRFD. ....	26
Figura 9. Deformación de la cercha superior II según el método LRFD. ....	27
Figura 10. Diagrama de Resultantes – Deflexiones II según el método LRFD. ....	27
Figura 11. Deformación de los anclajes de los asientos II según el método LRFD. ....	28
Figura 12. Deformación de la carrocería II según el método LRFD. ....	29
Figura 13. Elementos Estructurales.....	30
Figura 14. Desplazamiento.....	30
Figura 15. Análisis Modal.....	31
Figura 16. Máquina de ensayos de tracción. ....	33

Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos	10
Figura 17. Principales aspectos del comportamiento del acero. ....	33
Figura 18. Límites de fluencia superior e inferior para diferentes curvas. ....	34
Figura 19. Probetas para Ensayos de Tracción. ....	43
Figura 20. Pantalla Visual .....	44
Figura 21. Selección de unidades.....	45
Figura 22. Bosquejo de la Probeta .....	45
Figura 23. Croquizado de la Probeta.....	45
Figura 24. Extrusión del croquizado de la Probeta .....	46
Figura 25. Modelamiento de la probeta .....	46
Figura 26. Material de la Probeta ASTM A36.....	47
Figura 27. Modelado de la Probeta ASTM A36 .....	47
Figura 28. Activación del complemento SOLIDWORKS Simulation .....	48
Figura 29. Activación del Nuevo Estudio .....	49
Figura 30. Selección de Análisis Requerido .....	49
Figura 31. Análisis de la Probeta útil para Tracción .....	50
Figura 32. Ubicación de restricciones en la Probeta útil para Tracción.....	50
Figura 33. Ubicación de las cargas en la Probeta útil para Tracción .....	51

Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos	11
Figura 34. Parámetros de mallado en la Probeta útil para la Tracción .....	51
Figura 35. Mallado de la Probeta útil para la Tracción .....	52
Figura 36. Procedimiento de Ejecución del Análisis de la Probeta útil para la Tracción .....	52
Figura 37. Ejecución del Análisis de la Probeta útil para la Tracción .....	53
Figura 38. Bosquejo de la Probeta para Ensayo de Flexión.....	53
Figura 39. Croquizado de la Probeta para ensayo de flexión.....	54
Figura 40. Extrusión del croquizado de la Probeta para Ensayo de Flexión.....	54
Figura 41. Modelamiento de la probeta .....	55
Figura 42. Material de la Probeta para Ensayo de Flexión ASTM A36 .....	55
Figura 43. Modelado de la probeta ASTM A36.....	56
Figura 44. Activación del Nuevo Estudio para el Análisis de la Probeta a Flexión .....	56
Figura 45. Selección de Análisis Requerido de la Probeta para Ensayo de Flexión.....	57
Figura 46. Análisis de la Probeta útil para Flexión .....	57
Figura 47. Trazado de líneas para restricciones para la Probeta útil para Flexión.....	58
Figura 48. Trazado de líneas para ubicar Cargas para la Probeta útil para Flexión.....	58
Figura 49. Ubicación de restricciones en la Probeta útil para Flexión.....	59
Figura 50. Ubicación de las cargas en la Probeta útil para Flexión .....	59

Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos	12
Figura 51. Parámetros de mallado en la Probeta útil para Flexión .....	60
Figura 52. Mallado de la Probeta útil para Flexión.....	60
Figura 53. Procedimiento de Ejecución del Análisis de la probeta útil para Flexión .....	61
Figura 54. Ejecución del Análisis de la Probeta útil para Flexión .....	61
Figura 55. Ubicación del Tubo Estructural de 50x50x3 .....	62
Figura 56. Características del Equipo de medición.....	63
Figura 57. Análisis de Tensiones de la Probeta de Tracción .....	65
Figura 58. Análisis de Deformación Unitaria de la Probeta de Tracción .....	66
Figura 59. Resultado de Análisis de Desplazamiento de la Probeta de Tracción .....	66
Figura 60. Análisis de Tensiones de la Probeta de Flexión. ....	69
Figura 61. Análisis de Deformación Unitaria de la Probeta de Flexión .....	70
Figura 62. Resultado de Análisis de Desplazamiento de la Probeta de Flexión .....	70
Figura 63. Resultados de Análisis con Acero ASTM A36, Tubo cuadrado 50x50x1.5 .....	83
Figura 64. Resultados de Análisis con Acero ASTM A36, Tubo cuadrado 50x50x3.0 .....	84
Figura 65. Resultados de Análisis con Acero AISI 1015.....	85
Figura 66. Resultados de Análisis con Acero Galvanizado .....	86
Figura 67. Resultados de Análisis con Acero Al Carbono No Aleado .....	87

Figura 68. Resultados de Análisis con Acero AISI 1045.....	88
Figura 69. Resultados comparativos de los ensayos de tracción de los análisis de tensiones .	91
Figura 70. Resultados comparativos de los ensayos de tracción .....	91
Figura 71. Resultados comparativos de los ensayos de flexión de los análisis de tensiones ...	94
Figura 72. Resultados comparativos de los ensayos de flexión .....	94
Figura 73. Resultados comparativos del análisis de tensiones de los tipos de materiales .....	96
Figura 74. Resultados comparativos del análisis de desplazamientos de los tipos de materiales .....	96
Figura 75. Resultados comparativos del análisis de deformaciones de los tipos de materiales .....	97
Figura 76. Resultados comparativos del análisis del FDS de los tipos de materiales .....	97
Figura 77. Resultados de Análisis de las Tensiones de los materiales .....	100
Figura 78. Resultados de Análisis de los Desplazamientos de los materiales. ....	101
Figura 79. Resultados de Análisis de las Deformaciones de los materiales. ....	101
Figura 80. Resultados de Análisis de los FDS de los materiales. ....	102
Figura 81. Proceso de análisis estructural .....	103
Figura 82. Cargas actuantes .....	104
Figura 83. Análisis estructural .....	105
Figura 84. Optimización estructural.....	105

Figura 85. Resultados de varios ensayos de Tensión (MPa)..... 107

Figura 86. Resultados de varios ensayos de Desplazamiento (mm) ..... 107

## **Introducción**

### **Antecedentes**

El sector carrocerero en los últimos años ha mostrado gran crecimiento, convirtiéndose en uno de los pilares de la economía del país, dinamizando y fortaleciendo la economía de las provincias como son Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura y Tungurahua, generando mayores fuentes de trabajo, mediante la ampliación y ejecución de nuevos proyectos, creando prototipos, ensayando análisis de tipo estructural, así como de estudios metalográficos, climáticos, tratamientos térmicos, resistencia de materiales e impresiones de tipo 3D de algunas partes. (La Hora, 2018)

En el país, según el informe elaborado en abril del 2014 por la CANFAC que significa (Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías), detalla que la producción mensual de carrocerías se divide en:

- 62 carrocerías para buses urbanos
- 45 para buses provinciales
- 8 para buses de turismo
- 12 para buses escolares

Llegando a facturar mensualmente hasta 2790000 dólares por buses urbanos, hasta 2700000 dólares por buses interprovinciales, hasta 520000 dólares por buses de tipo turismo y 540000 dólares en buses escolares; donde el avance tecnológico ha permitido simular accidentes,

elaborando estructuras más convincentes y confiables; donde la ingeniería permite satisfacer los requerimientos funcionales que brinden seguridades para el público en general.

Según la Norma NTE INEN 2656, clasifica a los vehículos por categoría, las cuales son:

- a) Categoría L, están los vehículos con 2, 3 o 4ruedas, que no sobre pasen hasta los 440 Kg de carga.
- b) Categoría M1, están todos los vehículos con cabida no mayor a 8 plazas, sin contar el asiento del conductor.
- c) Categoría M2, están ubicados los vehículos con cabida mayor a 8 plazas, sin contar el asiento del conductor, y cuyo PBV no sea superior a los 5000 kg.
- d) Categoría M3, están todos los vehículos motorizados con más de ocho plazas, además del asiento del conductor, y cuyo PBV sea superior a 5000 kg.
- e) Categoría N1, son vehículos de 4 o más ruedas, contruidos, diseñados y modelados para el transporte de mercancía, cuyo PBV no sea mayor a de 3500 kg.
- f) Categoría N2, son vehículos de 4 o más ruedas, diseñados y modelados para el transporte de mercancía, cuyo PBV sea superior de 3500 kg y hasta los 12 000 kg.
- g) Categoría N3, son vehículos diseñados y modelados para el transporte de mercancía, cuyo PBV sea mayor a los 12 000 kg
- h) Categoría O, son vehículos diseñados para ser remolcados por un vehículo de motor.

Según Gonzales (2010), dice que los porcentajes de las diferentes colisiones en el país son:

Tabla 1

Proporción de choques

Tipo de Choque	Proporción (%)	Zona de cuadrantes
Frontal	58	11, 12, 1
Lado del conductor	14	8, 9, 10
lado opuesto al conductor	9	2, 3, 4
Posterior	5	5, 6, 7
Vuelco	14	

Nota: (González, 2010).

Según Gonzales (2010), indica además que los cuadrantes de colisión que se producen en el vehículo son:

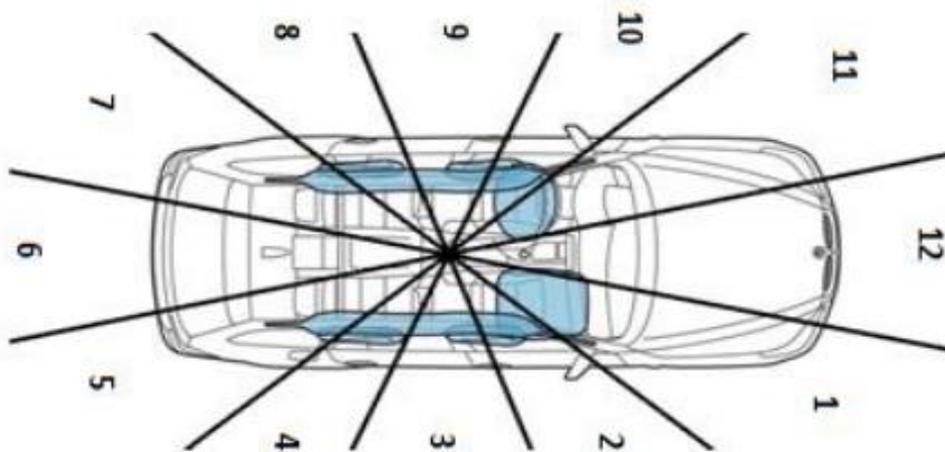


Figura 1. Cuadrantes de Colisión. Tomado de (González, 2010).

### ***Ensayos Físicos y por el Método de Elementos Finitos***

Los ensayos físico, así como de los de tipo virtual que se dan por el método MEF (Método de los elementos finitos), tiene como objetivo principal predecir el comportamiento Tenso-Deformacional de los aceros estructurales 50x50x3 en un proceso de manufacturación de carrocerías, donde se puede determinar si el material es el correcto para el esfuerzo que debe

realizar en la ubicación que se allá, en una zona de tipo elástica o lineal, pudiendo absorber la energía, la cual puede ser recuperada cuando la carga es eliminada o retirada". (Navarro, 2006)

Donde:

Esfuerzo ( $\sigma = F/A_0$ ) en base a la carga definida y el Área de la probeta

Deformación ( $\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$ ), donde la curva de carga se obtiene a partir del alargamiento

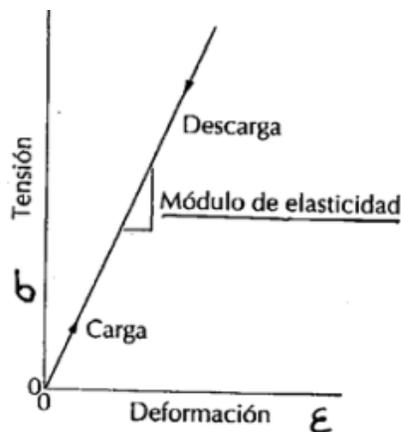


Figura 2. Gráfico Tensión Vs Deformación. Tomado de (Navarro, 2006)

## Justificación

La producción de carrocerías es un pilar importante en el país, facturando hasta 80 millones de dólares anuales por renovación de 2200 unidades de transporte, con sello de exportación donde la innovación tecnológica, el diseño, la calidad del producto, materiales, es un valor extra. (el telégrafo, 2017)

Los materiales que son más propicios en la fabricación de carrocerías son los ferrosos por poseer como principal componente, o elemento base al Hierro, donde su gran característica radica en la gran resistencia a la tensión y dureza; donde su aplicación es la construcción,

industria de los alimentos, militares, automotrices, naviera, entre otros; donde intervienen factores como la duración del proceso de manufacturación, disponibilidad del material, fiabilidad, entre otros, donde la funcionalidad y la seguridad está definida por la geometría del diseño planteado.

Por lo que el presente proyecto tiene la finalidad de comparar los ensayos físicos con los virtuales que son los elaborados por el método de elementos finitos, donde se determina el comportamiento Tenso-Deformacional de aceros estructurales en tubos cuadrados de 50x50x3, ejecutando ensayos donde se determina la maleabilidad, la cual puede disminuirse en láminas finas; la tenacidad que determina la resistencia a la rotura; la dureza, en sí que es la resistencia que opone un cuerpo a dejarse penetrar; la elasticidad, que se trata de la propiedad que tienen los materiales a deformarse, entre otras; dividiendo sus procesos en dos etapas que son:

1. Selección de los materiales empleados
2. Desarrollo de los ensayos

En el Ecuador, hasta el momento no existe investigaciones sobre la comparación de los ensayos físicos con los virtuales que son los elaborados por el método de elementos finitos, donde se determina el comportamiento Tenso-Deformacional de aceros estructurales en tubos cuadrados de 50x50x3, dedicados exclusivamente en carrocerías de buses urbanos, provinciales, escolares y turísticos, por lo que se toma como iniciativa factible bibliográficamente por existir literatura referente al tema, práctico por darse en materiales de carrocerías de buses, y de estilo técnico por el grado de importancia que se les da por parte de los constructores de estructuras metálicas, quienes son los que buscan un mejoramiento continuo del material, contribuyendo al desarrollo tecnológico de estos materiales, demostrando su factibilidad y requerimientos.

Como se tiene conocimiento, las partes que integran una carrocería son varias, por lo que, la investigación será estrictamente en las secciones del bus con mayor cargas críticas, como son en las zonas superiores de las cerchas que unen los laterales con el techo, como se estipula en el trabajo de investigación (Pozo, 2014), la cual señala como punto crítico; en las secciones de anclajes de los asientos y finalmente en las partes que unen la carrocería con el chasis como indican (Hernández, 2016) y en (Esmeraldas, 2016); para posteriormente proceder a validar dichos resultados de manera analítica, corroborando los resultados presentados en los ensayos, con cargas definidas y delimitadas semejantes a las reales.

En base a la temática planteada se genera la siguiente hipótesis que es:

¿Se logrará determinar el comportamiento Tenso-Deformacional de aceros estructurales en tubos cuadrados de 50x50x3, mediante la comparación de los ensayos físicos con los originados por los elementos finitos, en el sector carrocerero?

El objetivo general de la investigación es:

- Mejora del diseño de las cerchas de los autobuses mediante la selección de materiales.

Entre los objetivos específicos constan:

- Caracterización del material existente.
- Simulación del comportamiento del material en una viga donde se origina más stress.
- Selección y simulación de los tres materiales comunes en toda la carrocería, que permitan mejorar el stress existente que se da comúnmente.

## Estado del Arte

### Investigaciones previas.

A continuación, se dan investigaciones relacionadas con el proyecto de investigación.

Aira (2014) en el proyecto de investigación con la temática “Análisis experimental y por el método de los elementos finitos del estado de tensiones en uniones carpinteras de empalme de llaves” Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, detalla que la distribución de las tensiones normales con las tangenciales, son simétricas cumpliendo un centro geométrico de la unión óptimo, donde sus resultados obtenidos por los métodos experimentales y por el Método de Elementos Finitos son similares, utilizando en dicho método un mallado de 1 a 10 mm, con una compatibilidad computacional aceptable, originando valores cercanos entre los puntos de concentración de tensiones, generando inicios de fracturas debida a la tracción perpendicular establecida.

López (2014) en el proyecto de investigación titulado como “Estudio comparativo de los métodos de elementos finitos y fotoelásticos en la determinación de esfuerzos para mejorar el diseño mecánico de piezas” Ambato, Ecuador: Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Centro de Estudios de Posgrado, Maestría en Diseño Mecánico, concluye que el proceso apropiado a aplicar determina la fotoelasticidad adecuada, con un error comparativo entre ensayos realizados por el método MEF, mas conocido como de elementos finitos y ensayos físicos inferior al 10%, obteniendo resultados confiables donde el análisis estadístico permite comprobar la hipótesis con un mallado muy adecuado, el cual varía entre 1 a 5 mm, generando soluciones adecuadas.

Bonilla, Bezerra, Larrúa, Recarey & Mirambell (2015) en el proyecto delimitado como “Modelación numérica con validación experimental aplicada al estudio de comportamiento de conectores tipo perno de estructuras de hormigón y acero” en la Revista de Construcción RIC, se ha concluido en las curvas de comportamientos, que los resultados experimentales con los numéricos difieren en porcentajes menores al 5%, prediciendo adecuadamente la resistencia originada en las conexiones, obteniendo resultados conservadores en régimen no lineal, evidenciándose la efectividad del uso del Método de Elementos Finitos bajo criterios de rupturas en la escala de Von Mises, bajo Normativas AISC – LRFD y NR, originando propiedades eficientes, con una cantidad de 2138 nodos máximos.

### **Sector carrocerero en el Ecuador.**

La industria carrocerera en el país, afronta enormes desafíos, evolucionando tecnológicamente nuevos diseños, que brinden seguridad a sus ocupantes, llegando a manufacturar mensualmente hasta 127 carrocerías, repartidas en 62 de tipo urbano, 45 interprovincial, 8 de estilo turismo y finalmente 12 de tipo escolares, por lo que anualmente llega a fabricarse hasta 1524 unidades, en 41 empresas homologadas. (CANFAC, 2014, p.5)

### ***Carrocería***

Es un sistema de estilo estructural, útil para el transporte de pasajeros, mejorando los espacios de supervivencia, siendo más confiables, absorbiendo el impacto ante una colisión presente, mejorando además el confort y la velocidad sin que aumente el consumo de energía. (López, 2015.p.48)

Los tipos de carrocerías son:

1. Carrocerías con chasis independiente
2. Carrocería con chasis plataforma
3. Carrocería autoportante o compacta.



Figura 3. Modelo de la superestructura del autobús. Tomado de (Avilés, R; 2017.p28)

### ***Elementos que constituyen una carrocería.***

Los elementos que constituyen una carrocería, según Avilés (2017) son:

1. **Cuadro de piso**, parte inferior de una carrocería auto portante, la cual se compone de perfiles de menor espesor, la cual está compuesta por:
  - **Largueros**, se trata de elementos en forma de viga tubular y longitudinal, ubicadas a un lado y otro de la chapa que constituye el piso.
  - **Las varas**, tratan de pequeños largueros soldados a los travesaños que sirven de unión de las extremidades de los largueros principales.
  - **Los travesaños**, se tratan de piezas en forma de viguetas huecas y transversales, unidas a los largueros.
  - **El piso**, se tratan de un conjunto de chapas unidas a través de soldaduras a los largueros y travesaños.

### *Puntos críticos de la carrocería.*

Los puntos críticos de la carrocería son:

Según Pozo (2014), en su tema de investigación titulado como: “Propuesta de procedimientos de análisis y de diseño de superestructuras de autobuses”, es la cercha superior frontal como se detalla en las Figuras 4 y 5, la cual según el esfuerzo de elementos por carga de vuelco y de densidades, marcan de color rojo, según el código de colores establecido y definido, originando valores máximos de hasta 305.1 MPa, con densidades de hasta el 1%.

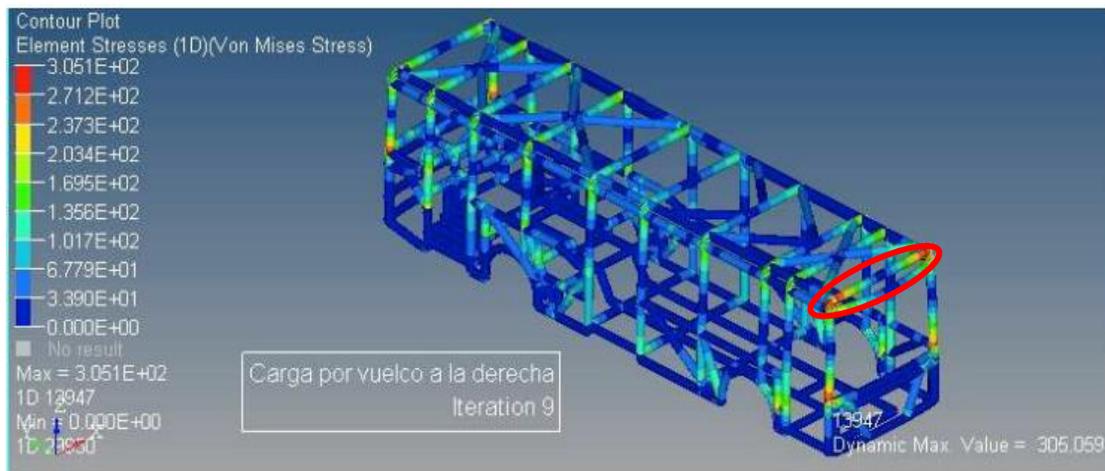


Figura 4. Esfuerzo en MPa por carga de vuelco a la derecha. Tomado de (Pozo, J; 2014)

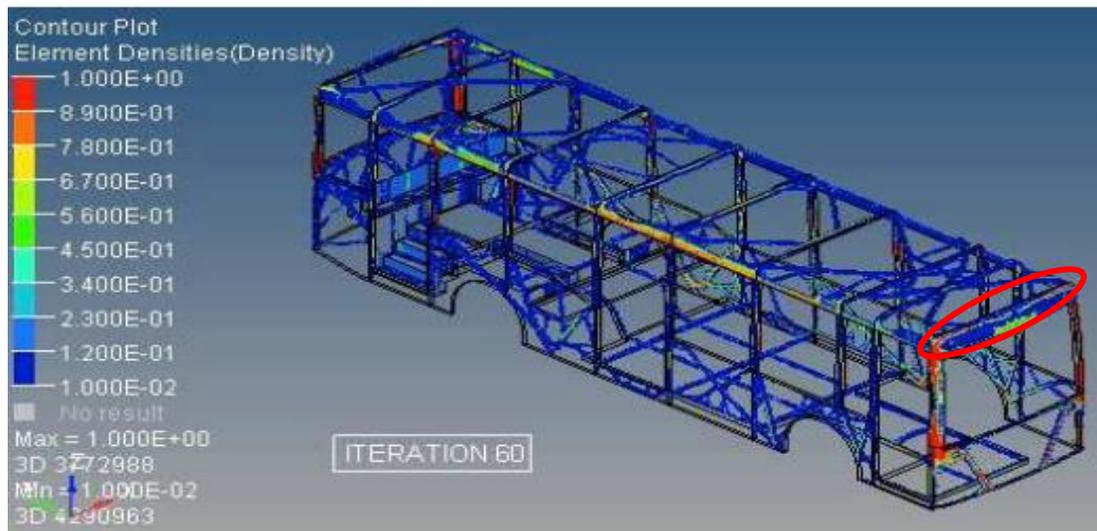


Figura 5. Interacción de diseño de elementos con densidad. Tomado de (Pozo, J; 2014)

Los puntos críticos existentes en una carrocería de un bus, mediante la deformación máxima, generada, según Hernández (2016) son, la parte superior de la cercha, como están estipuladas en las combinaciones 1, 7 y 8 es de 19.5 mm como se detalla en la Figura 6, ubicadas de color rojo, según la escala del código de colores; mientras que en la sección donde van ubicados los anclajes del asiento y las partes que unen la carrocería con el chasis, se encuentran definidas en las combinaciones 1, 2, 4, 5, 6 y 7, con una deformación de hasta 21.376 mm como se observa en las Figuras 7 y 8.

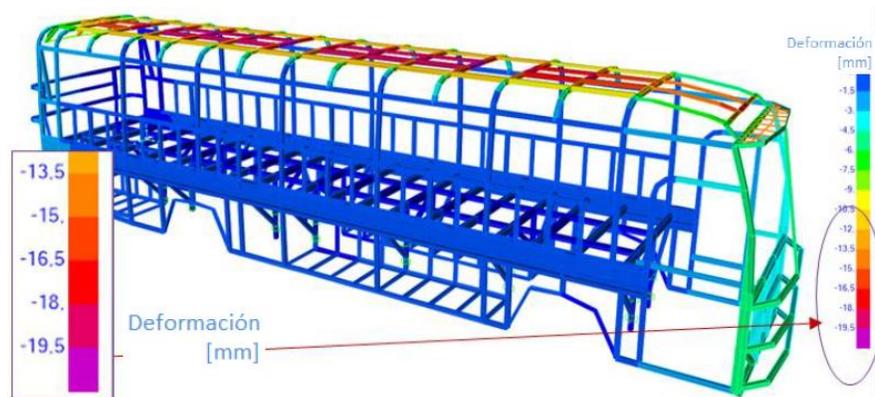


Figura 6. Deformación de la cercha superior según el método LRFD. Tomado de (Hernández, 2016)

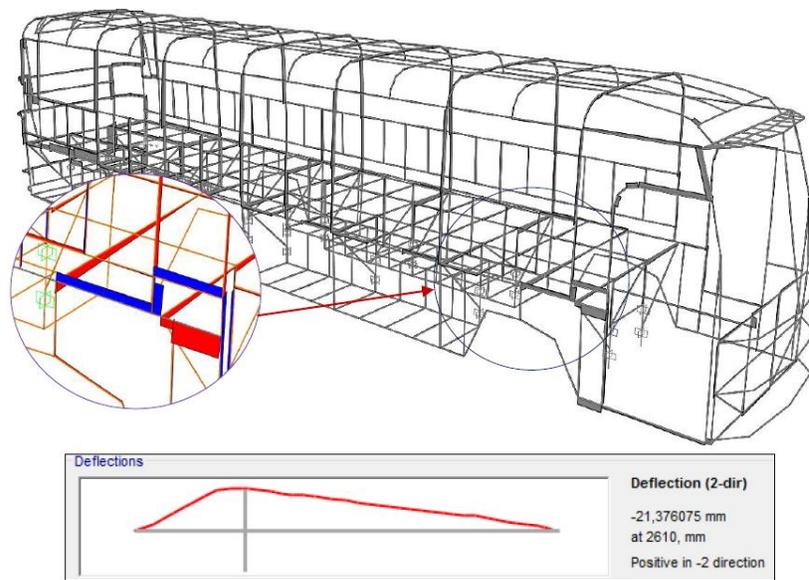


Figura 7. Deformación de los anclajes de los asientos según el método LRFD. Tomado de (Hernández, 2016)

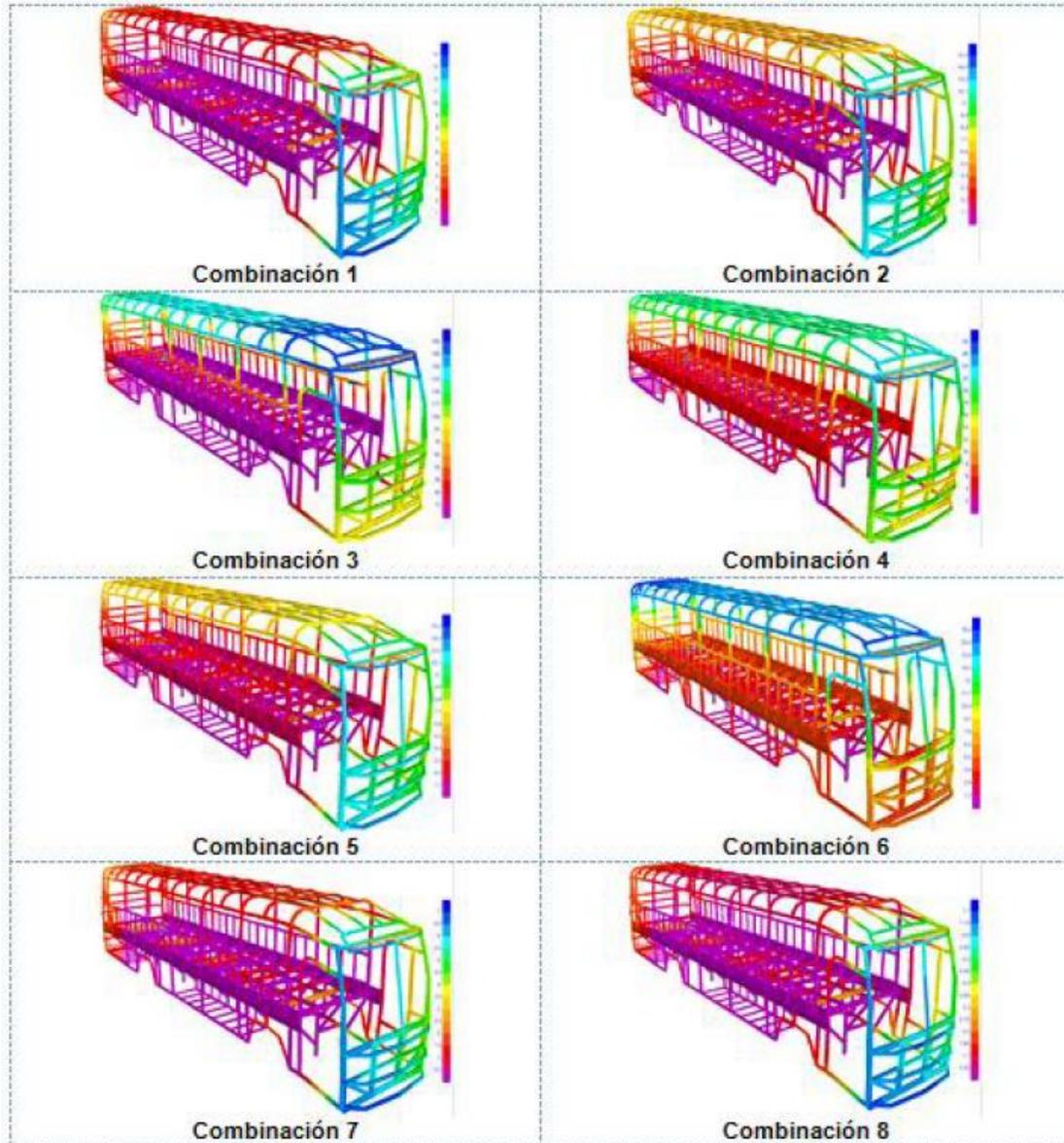


Figura 8. Deformación de la carrocería según el método LRFD. Tomado de (Hernández, 2016)

Esmeraldas (2016), “en su tema de investigación titulado como “Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería interprovincial sometida a una prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros”, indican que, el análisis cuasi-estático de la deformación por las combinaciones están en la parte superior de la cercha, como se detallan en las combinaciones 1, 7 y 8 es de 19.5 mm, señaladas en la Figura 9; mientras que en la sección donde van ubicados los anclajes del asiento, así como las partes que

unen la carrocería con el chasis, se encuentran en las combinaciones 1, 2, 4, 5, 6 y 7 es de 21.38 mm como se estipula en las Figuras 11 y 12.” (p.58)



Figura 9. Deformación de la cercha superior II según el método LRFD. Tomado de (Esmeraldas, 2016)

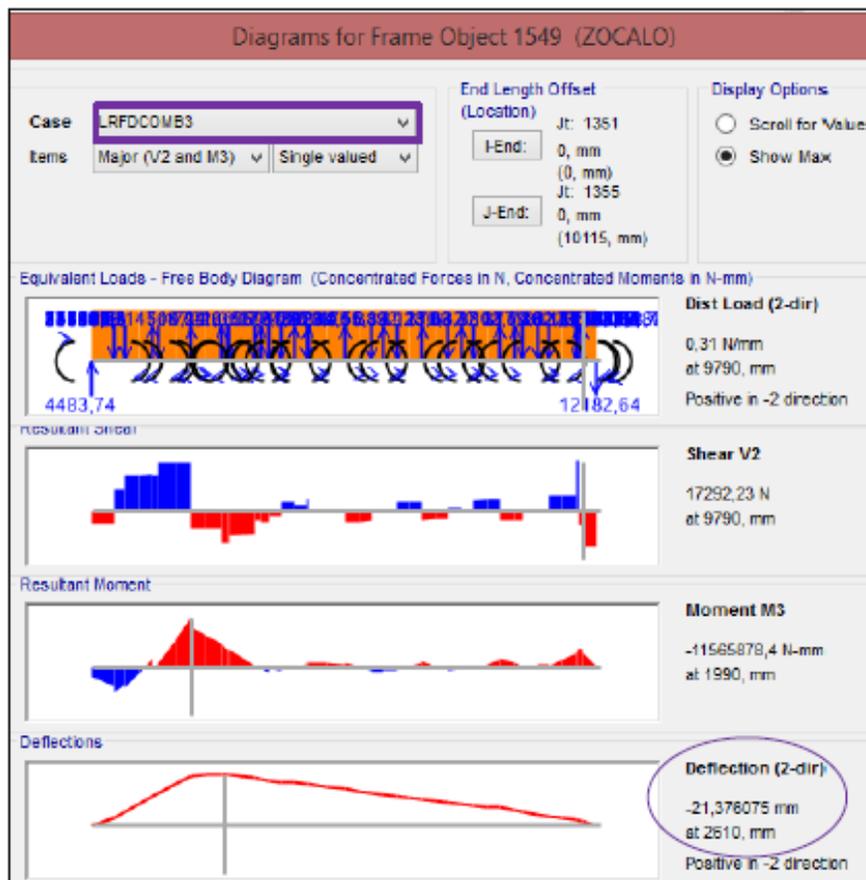


Figura 10. Diagrama de Resultantes – Deflexiones II según el método LRFD. Tomado de (Esmeraldas, 2016)

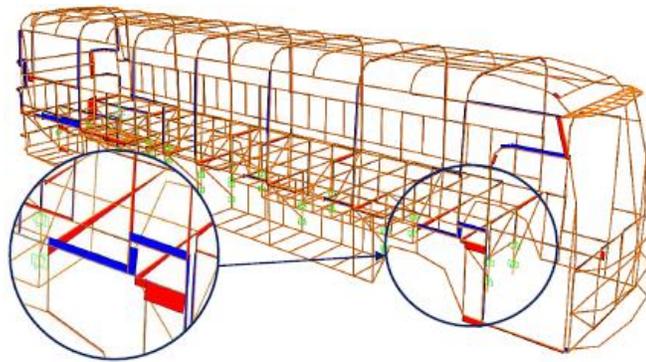
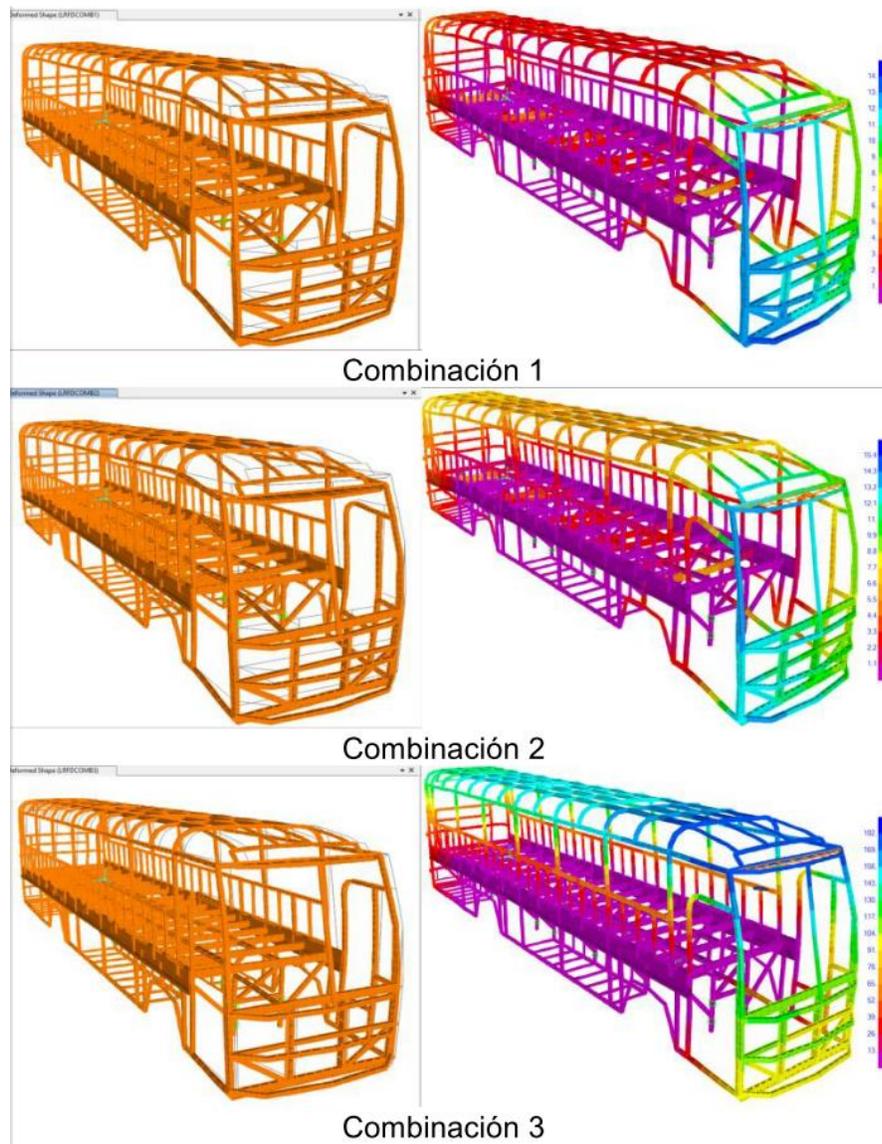


Figura 11. Deformación de los anclajes de los asientos II según el método LRFD. Tomado de (Esmeraldas, 2016)



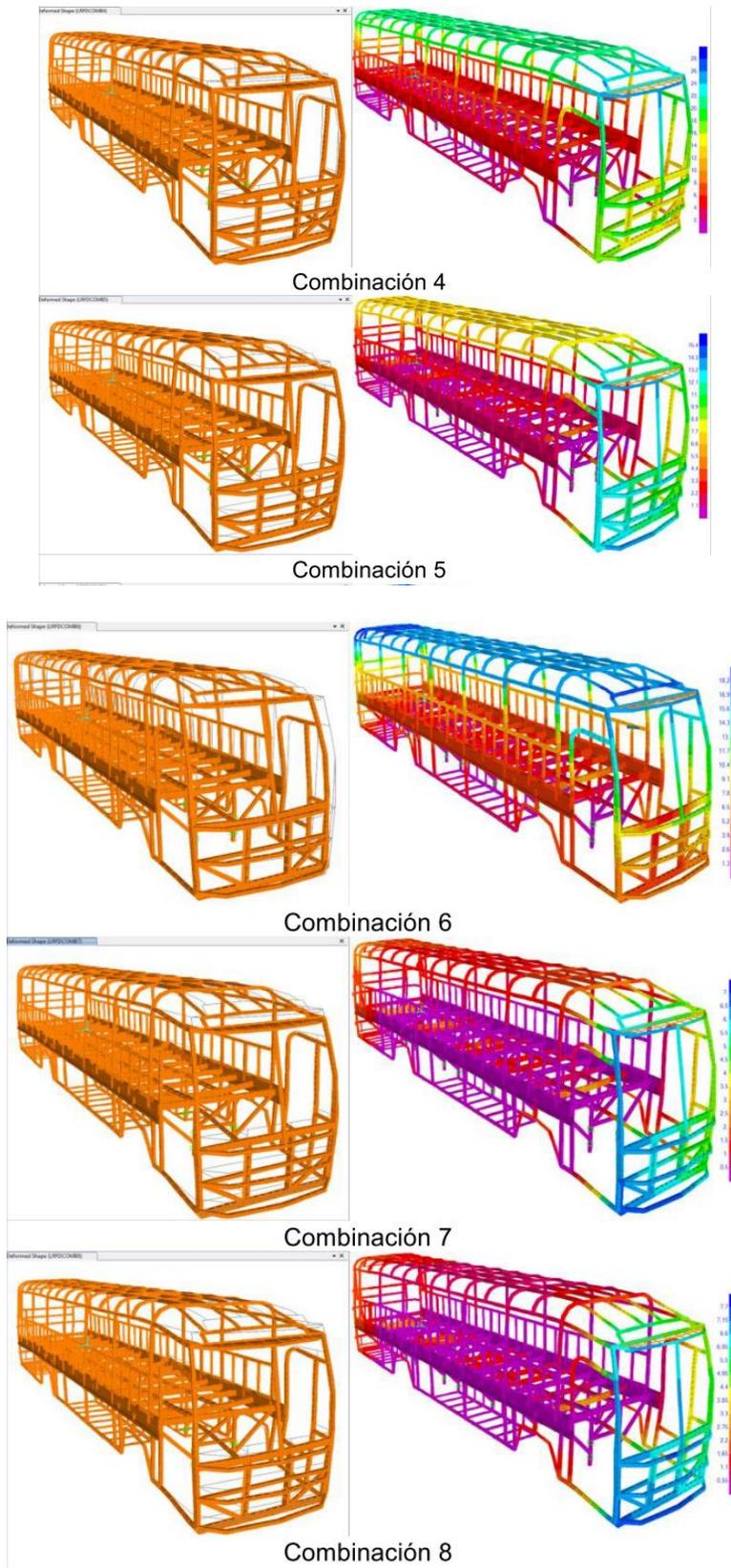


Figura 12. Deformación de la carrocería II según el método LRFD. Tomado de (Esmeraldas, 2016)

Según González (2013), dice que el cambio de geometría usadas en el modelado del autobús, determinan que el desplazamiento es de 13.22 mm y que el Factor de Seguridad es de 2.5, en base a las condiciones de borde, cargas vivas y muertas, así como de los elementos de sección transversal.

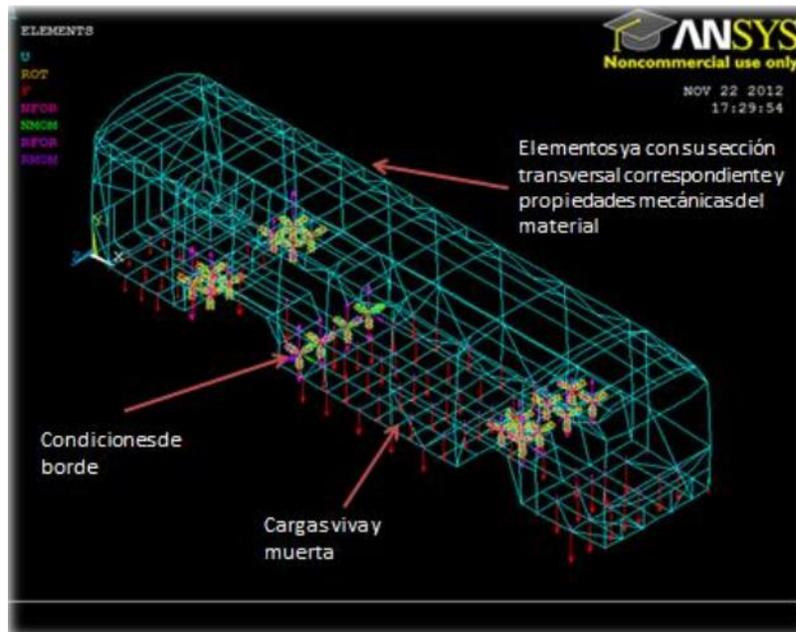


Figura 13. Elementos Estructurales. Tomado de (González, 2013)

Determinando

- Desplazamientos de 5.6 mm máxima en la parte inferior frontal

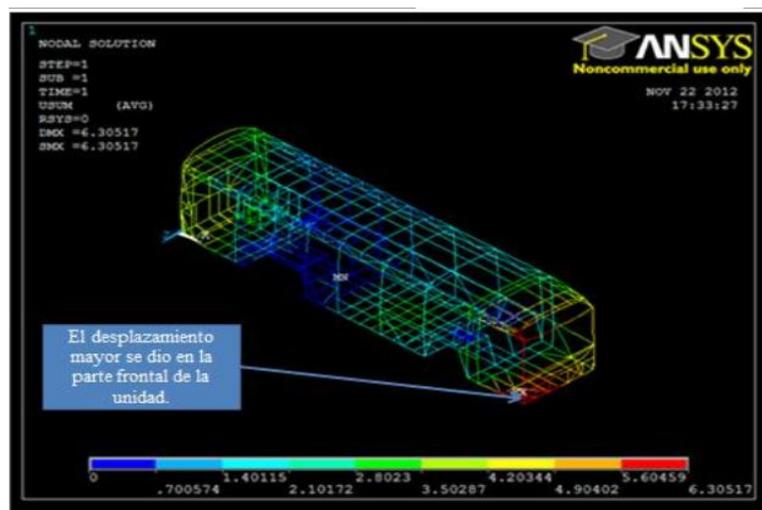


Figura 14. Desplazamiento. Tomado de (González, 2013)

Generando un Análisis Modal de:

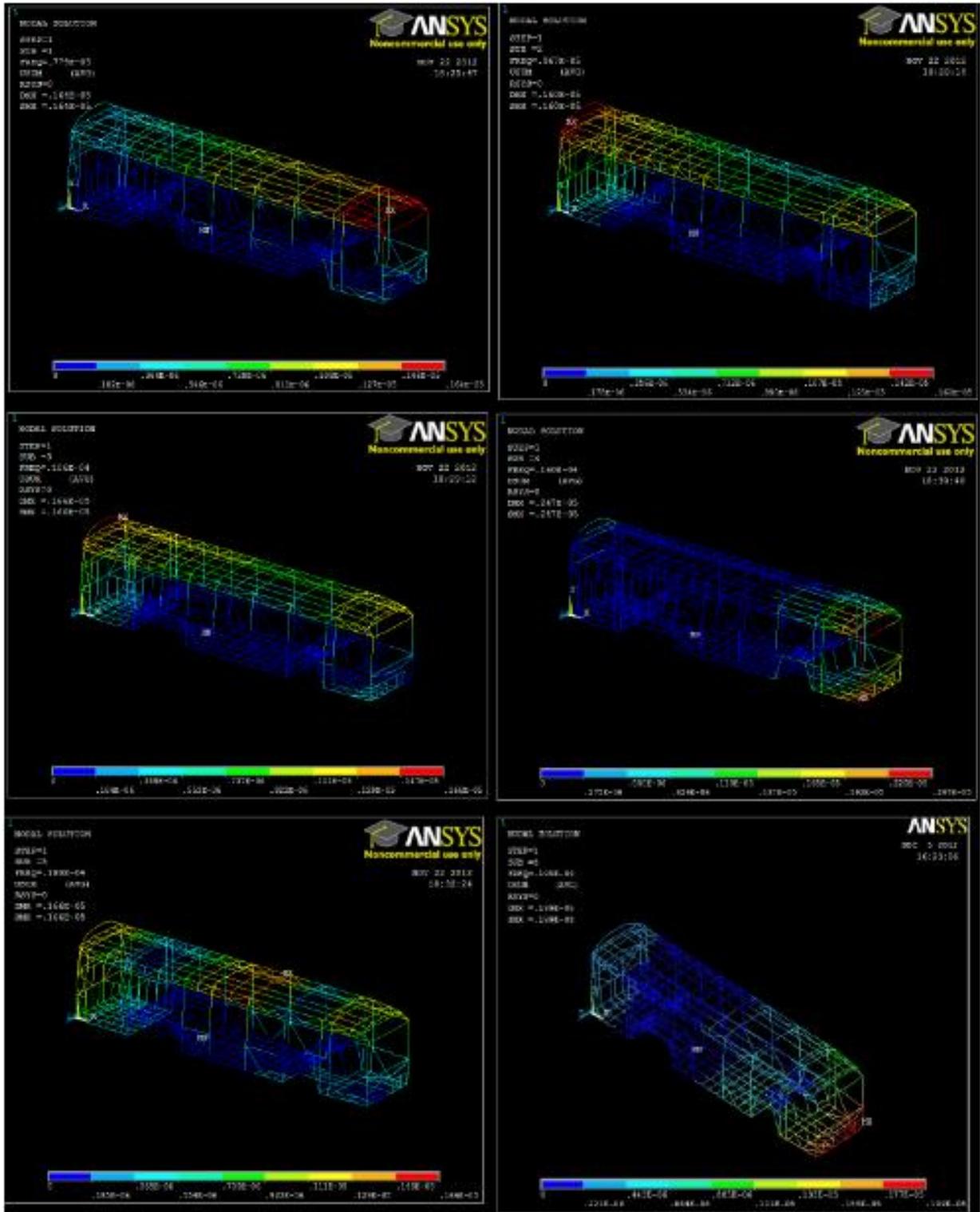


Figura 15. Análisis Modal. Tomado de (González, 2013)

## **Mecánica de los materiales**

La mecánica de materiales es la ciencia encargada de determinar esfuerzos, deformaciones unitarias y desplazamientos de los componentes, debido a cargas actuantes de estilo estático y dinámico, sobre la estructura, fundamentándose en el comportamiento mecánico, que representa la rigidez generada de los elementos. (Arroba, 2013, p.78)

Se hizo ensayos mecánicos, porque se utilizan para medir las deformaciones, resistencias y factores de seguridad que se dan en un material al aplicar una carga determinada

### ***Resistencia de materiales.***

Analuiza (2016), dice que la resistencia de materiales tiene como objetivo procesar métodos simples de cálculo, confiables desde el punto de vista común práctico, el cual requiere de la forma en que se ubiquen las fuerzas, así como las dimensiones adecuadas, entre otras, determinando sus propiedades mecánicas o características en base a ensayos de materiales como son:

- Ensayos de tracción
- Ensayo de flexión

**Ensayo de tracción**, “útil para definir varias propiedades del material, donde se deforma la probeta hasta generar la rotura, con una carga tracción la cual aumenta gradualmente, ubicándose en sus extremos mordazas de la máquina de ensayos, a una velocidad definida” (Analuiza, 2016).

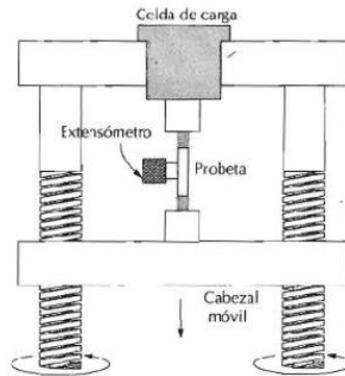


Figura 16. Máquina de ensayos de tracción. Tomado de (Analuiza, 2016)

Ensayo de tracción, es uno de los ensayos mecánicos más utilizados para determinar la caracterización del material, el cual se modifica hasta llegar a la rotura, a través de una fuerza, la cual aumenta de manera gradual, en base a normas específicas, donde las marcas de las probetas deben ser limadas, libre de fisuras e imperfecciones, suavizando con papel abrasivo. (Hidalgo y Espinoza, 2016.p.87)

Los parámetros a determinar en el ensayo de tracción según la Norma NTE INEN 109:2009, son:

- “El esfuerzo, la cual es la carga del ensayo dividida para el área de la sección transversal.
- Porcentaje de elongación, es el alargamiento originado y comparado con la longitud inicial

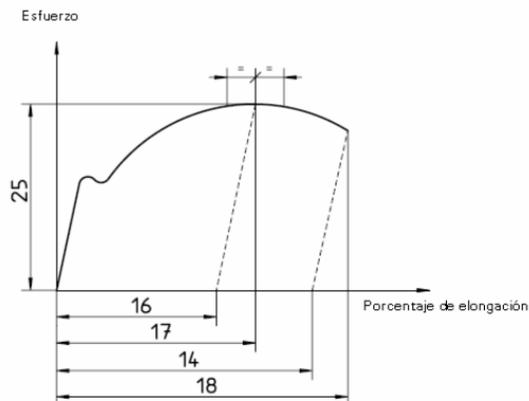


Figura 17. Principales aspectos del comportamiento del acero. Tomado de (NTE INEN 109:2009)

- Porcentaje de extensión en el límite de fluencia, es el alargamiento originado por una deformación localizada.
- Límite de fluencia superior, es el valor que se observa al primer decrecimiento de la carga.
- Límite de fluencia inferior, es el valor más bajo observado del esfuerzo en el campo plástico.”

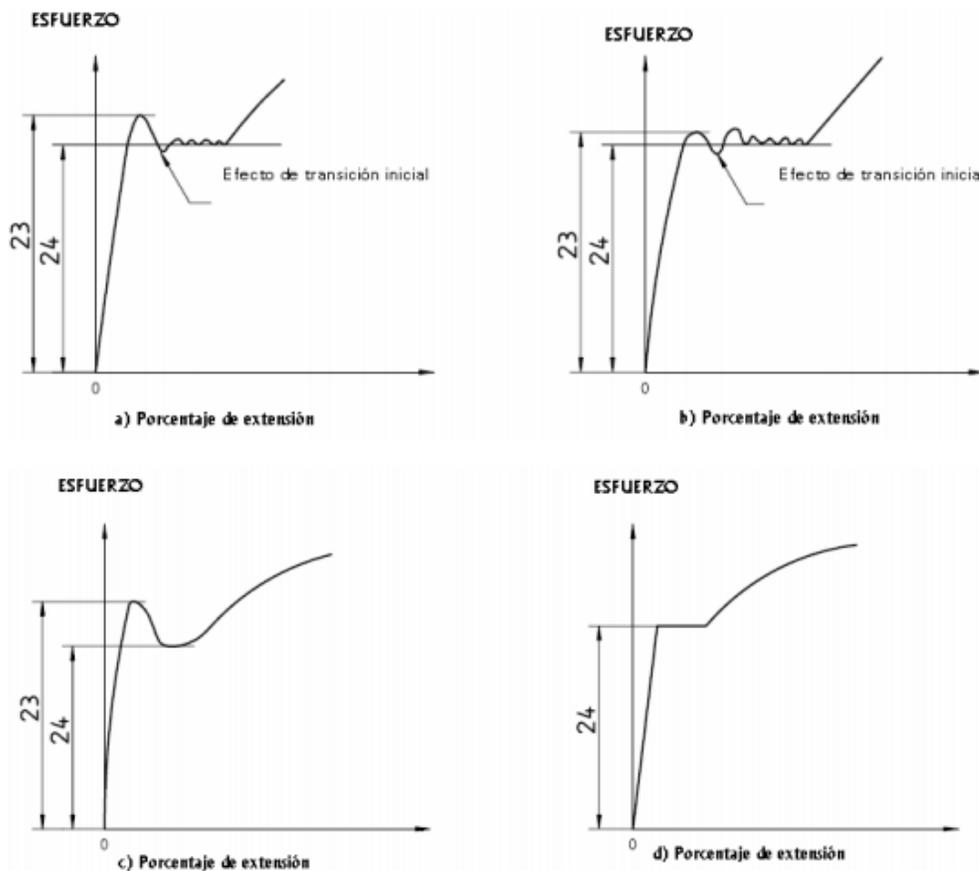


Figura 18. Límites de fluencia superior e inferior para diferentes curvas. Tomado de (NTE INEN 109:2009)

**Ensayo de flexión,** “se utiliza para determinar la dureza a la flexión, así como las propiedades de resistencia, mediante la aplicación de carga en tres puntos específicos en una viga con apoyos

simples, requiriéndose al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, donde las probetas deben ser libre de defectos y fisuras que influyan en el ensayo”. (Hidalgo y Espinoza, 2016.p.88)

### ***Criterios de selección de materiales.***

Los criterios de selección utilizados de manera común son:

- **Resistencia a la tracción**, “es la alcanzada a la curva de tensión – deformación, mientras más dúctil sea mayor será el decrecimiento en la tensión, sometida a un esfuerzo de tracción con tendencia a deformar la estructura de alargamiento”. (Andrade y Méndez, 2013.p.58)
- **Esfuerzo de fluencia**, “se trata del valor mínimo de esfuerzo donde inicia la deformación plástica del elemento; donde la fase elástica regresa a su forma original si se deja de ubicar la carga, mientras que la fase plástica consiste en que se conserva la deformidad una vez que se retira la carga”. (Andrade y Méndez, 2013.p.59)
- **Elongación**, “consiste en la ductibilidad de un material determinado en un ensayo de tracción, donde la distancia calibrada incrementa la longitud, iniciando que a mayor elongación se origina mayor ductibilidad”. (Andrade y Méndez, 2013.p.61)

En la selección del material (Andrade y Méndez, 2013), indica que:

- La resistencia a la tracción tiene el doble grado de importancia que el esfuerzo de fluencia, porque esta propiedad determina alcanzar a la curva de tensión deformación, la cual se define la frigidéz del producto.
- Esfuerzo de fluencia, maneja una ponderación de la media originada de la tracción, por tratarse de un valor mínimo de esfuerzos donde inicia la deformación, pasando a la fase

elástica pudiendo recuperar su forma original y a la plástica la cual no puede recuperar su forma inicial.

- La elongación maneja el mismo porcentaje del esfuerzo a la fluencia, por representar al alargamiento que se da en los materiales, consistiendo en la ductilidad del material.

## **Método**

### **Tipo de estudio**

El proyecto presente, se centra en un paradigma de enfoque cuali-cuantitativo, debido a un proceso no definido con una perspectiva establecida en el entorno natural, analizando el comportamiento de un material, detallando las características, en base a datos obtenidos los cuales proveen una base de datos, validados por modelos matemáticos originados.

### **Modalidad de investigación**

La modalidad de la investigación se utilizará una metodología de nivel descriptivo, debido al estudio comparativo de ensayos físicos, así como por el Método de Elementos Finitos del material, describiendo su composición, explicativo debido a la comprobación experimental que se debe efectuar; con una investigación de campo sistemática, la cual se utilizará para realizar los ensayos personalmente, bajo normas ASTM e INEN.

La investigación se basa en una modalidad de tipo numérico y físico, en un ambiente controlado, por el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela Politécnica de Chimborazo, ubicado en la ciudad de Riobamba, el cual se llevara a cabo de la siguiente manera:

- Revisión de la información bibliográfico-recolectada

- Análisis de la información central y puntual, la cual se encarga de estudiar el tema requerido sin englobar los resultados deseados, debiendo ser preciso y conciso.
- Adquisición del material de las secciones críticas definidas
- Determinación de la configuración para las propiedades físicas.
- Determinación de la configuración volumétrica del material
- Realización de ensayos de. las probetas
- Análisis de resultados
- Interpretación de resultados
- Validación de los resultados mediante modelos matemáticos

### **Diseño de la geometría.**

#### *Mecánica de los materiales.*

Los resultados que pueden obtenerse de un ensayo físico son:

- **Desplazamiento y deformación**, es la acción de desplazar o desplazarse, teniendo en cuenta que los elementos cambian debido a su rigidez, bajo la acción de cargas exteriores. (Arroba, 2013)
- **Deformación elástica**, es la deformación que se reparte a lo largo de la probeta, recuperando su estado inicial una vez retirada la carga, donde el coeficiente de proporcionalidad que se origina entre la tensión y la deformación se denomina como módulo de elasticidad o de Young, alcanzando un límite de fluencia en la tensión más elevada. (Arroba, 2013)

- **Deformación permanente**, la deformación del metal se orienta en la dirección del cortante máximo, que es la causante de una deformidad permanente, cristalizando los granos, generando un efecto de endurecimiento. (Arroba, 2013)

### *Análisis de esfuerzos cortantes, de flexión y de desplazamiento en Y*

El análisis por el esfuerzo cortante se determina de la siguiente manera:

- Se inicia determinando la Fuerza Cortante de la siguiente manera:

$$R = \frac{F}{2} \quad (1)$$

$$R = V$$

Donde:

R = Reacciones

F = Carga Puntual

V = Fuerza Cortante

- Se continúa con la determinación del Momento Flector mediante la siguiente fórmula.

$$M = \frac{Fx}{2} \quad (2)$$

Donde:

M = Momento Flector

F = Carga Puntual

l = Longitud de la Probeta

x = longitud media = l/2

- El siguiente paso es determinar el Esfuerzo Cortante Máximo, de la siguiente manera:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{3V}{2A} \quad (3)$$

Donde:

$\tau_{m\acute{a}x}$  = Esfuerzo de Cortante Máximo

$V$  = Fuerza Cortante

$A$  = Area de impacto

- Una vez determinado el Esfuerzo Cortante Máximo, se procede a definir el Esfuerzo de Flexión Máximo, de la siguiente manera:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \pm \frac{MC}{I} \quad (4)$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$  = Esfuerzo de Flexión Máximo

$C$  = Distantancia Media

$I$  = Inercia de la Probeta

$M$  = Momento Flector

- El siguiente paso es determinar el Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima de la siguiente manera:

$$Y_{m\acute{a}x} = - \frac{Fl^3}{48EI} \quad (5)$$

Donde:

$Y_{m\acute{a}x}$  = Desplazamiento en Y o Deflexión Máxima

$F$  = Carga originada

$I$  = Inercia de la Probeta

$l$  = Longitud de la Probeta

$E$  = Elasticidad

- Se continua con el procesamiento a determinar de la Deformación Unitaria, de la siguiente manera:

$$\sigma = E \cdot \epsilon_t \quad (6)$$

$$\delta = E_c \cdot L \quad (7)$$

$$\epsilon_t = \epsilon_c \quad (8)$$

Donde:

$L$  = Longitud Calibrada (Valor proporcionado del ensayo)

$\sigma$  = Esfuerzo de fluencia (Valor proporcionado del ensayo)

$\delta$  = Deformación (Valor proporcionado del ensayo)

$E$  = Módulo de Elasticidad (Valor registrado del Acero)

$\epsilon_t$  = Deformación Unitaria Teórica

$\epsilon_c$  = Deformación Unitaria Experimental

- Finalmente el factor de seguridad originado debe ser igual o mayor al recomendado para Acero Ductiles descritos en Robert Mott, para lo cual se usará el Método por Elementos Finitos, mediante el uso del software SolidWorks el cual es un programa de diseño mecánico para sólidos paramétricos.

### Población y Muestra.

Como el estudio es experimental, la población se da por una unidad, en base a replicas determinadas. (Lozano, 2011).

Por lo que: por réplica

$$n = \frac{W - W^2 \times Z_{\beta} + 1,4 \times Z_{\alpha}^2}{W^2} \quad (9)$$

Donde:

- Número de Muestras = n
- Valor correspondiente al nivel de confianza al 95% =  $Z_{\alpha} = 1.960$  Tabla 2.
- Valor correspondiente al poder estadístico al 90% =  $Z_{\beta} = 1.282$  Tabla 3.
- Rendimiento Mínimo Esperado =  $W = 0.95$ .

Tabla 2

Valor  $Z_{\alpha}$

Nivel de confianza (1 - $\alpha$ )		
A	(%)	$Z_{\alpha}$
<b>0,050</b>	95,0	1,960
<b>0,025</b>	97,5	2,240
<b>0,010</b>	99,0	2,576

*Nota: (Lozano, 2011)*

Tabla 3.

Valor  $Z_{\beta}$

Poder estadístico (1 - $\beta$ )		
B	(%)	$Z_{\beta}$
<b>0,20</b>	80,0	0,842
<b>0,15</b>	85,0	1,036
<b>0,10</b>	90,0	1,282

*Nota: (Lozano, 2011)*

Por lo que el número de muestras es:

$$n = \frac{0.95 - (0.95)^2 * (1.282) + 1.4 * (1.96)^2}{(0.95)^2}$$

$$n = 5.73 \approx 6 \text{ muestras por ensayo}$$

### **Selección de instrumentos de investigación.**

Los instrumentos de investigación a usar son los registros de los ensayos efectuados, donde los análisis determinados de la muestra se encuentran estipulada anteriormente.

### **Validez y confiabilidad de los instrumentos.**

Las muestras generadas, cumplen con los requerimientos básicos, porque los errores no superan el 5% de desconfianza, donde con las seis muestras obtenidas, se evitan tener datos erróneos, siendo estos aceptables.

### **Materiales**

Los parámetros a evaluar, son:

- Tipos de materiales
- Deformaciones
- Tensiones
- Desplazamientos

## Diseño e Implementación

El diseño inicia a partir de la modelación de las probetas, donde las medidas están estipuladas en la NTE INEN 109:2009, la cual es útil para “ENSAYOS DE TRACCIÓN PARA MATERIALES METÁLICOS A TEMPERATURA AMBIENTE”.

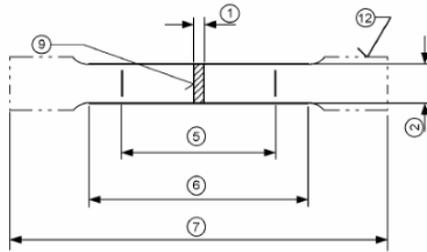


Figura 19. Probetas para Ensayos de Tracción. Tomado de (NTE INEN 109:2009)

Tabla 4.

Símbolos y Designaciones

Numero de referencia	Símbolo	Unidades	Designación
Probeta			
1	a	Mm	Espesor de la probeta de ensayo plano o de la pared de un tubo
2	b	Mm	Ancho de la longitud paralela de la probeta de ensay plano o ancho promedio de una tira longitudinal tomado de un tubo o ancho de un alambre plano
3	d	Mm	Diámetro de la longitud paralela de una probeta circular o diámetro de un alambre redondo o diámetro interno de un tubo
4	D	Mm	Diámetro externo de un tubo
5	$L_0$	Mm	Longitud calibrada inicial
-	$L_0^*$	Mm	Longitud calibrada inicial para determinar el $A_g$
6	$L_c$	Mm	Longitud paralela
-	$L_c$	Mm	Longitud calibrada del extensómetro
7	$L_1$	Mm	Longitud total de la probeta
8	$L_u$	Mm	Longitud final calibrada después de la rotura
-	$L_u^*$	Mm	Longitud calibrada final después de la rotura para determinar $A_g$

Nota: (NTE INEN 109:2009)

Tabla 5.

Dimensiones de Probetas

Tipo de probeta	Ancho	Longitud calibrada inicial $L_0$	Longitud paralela $L_c$	Mínima longitud libre entre las mordazas para probetas de lados paralelos
1	12,5±1	50	75	87,5
2	20±1	80	120	140

Nota: (NTE INEN 109:2009)

Inicialmente se debe comenzar señalando las herramientas y comandos que tiene el

SolidWorks, como se describe en la Figura a continuación.

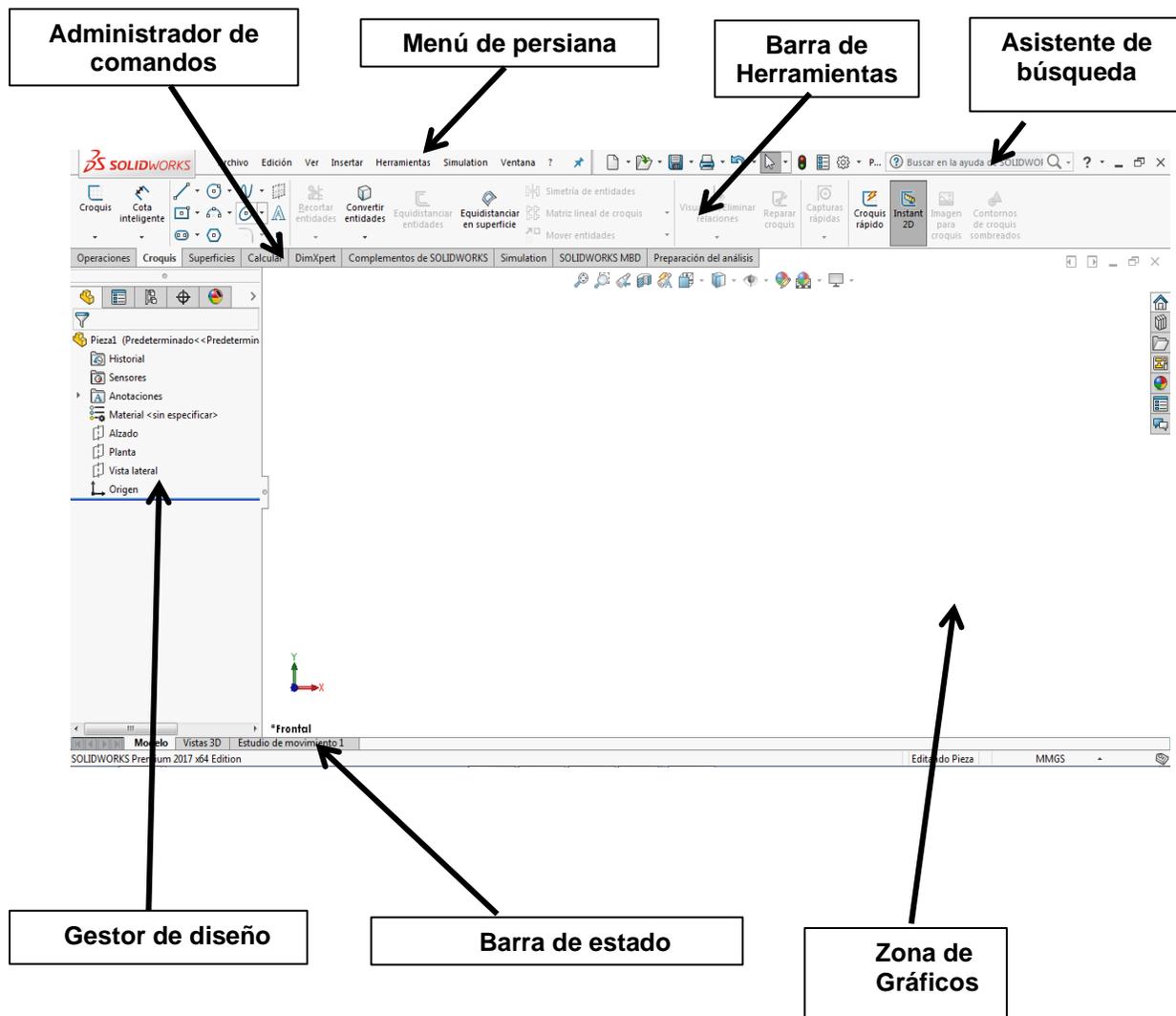


Figura 20. Pantalla Visual

Una vez definido las dimensiones se proceden al modelamiento iniciando con la selección de las medidas como se describe en la Figura 21.

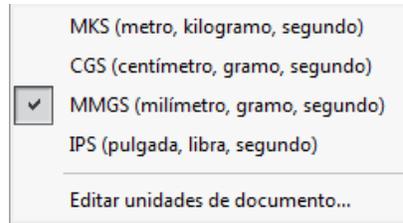


Figura 21. Selección de unidades

Una vez que se detallan las medidas se procede a bosquejar la probeta como se detalla a continuación.

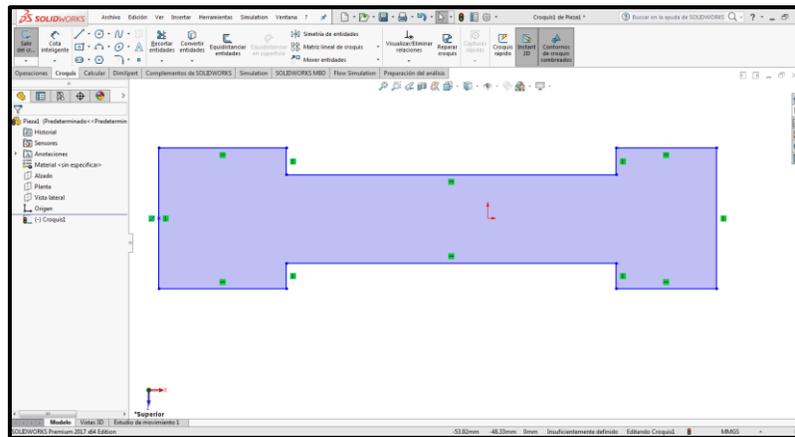


Figura 22. Bosquejo de la Probeta

A continuación, se procede a croquizar el diseño de la probeta, de la siguiente manera:

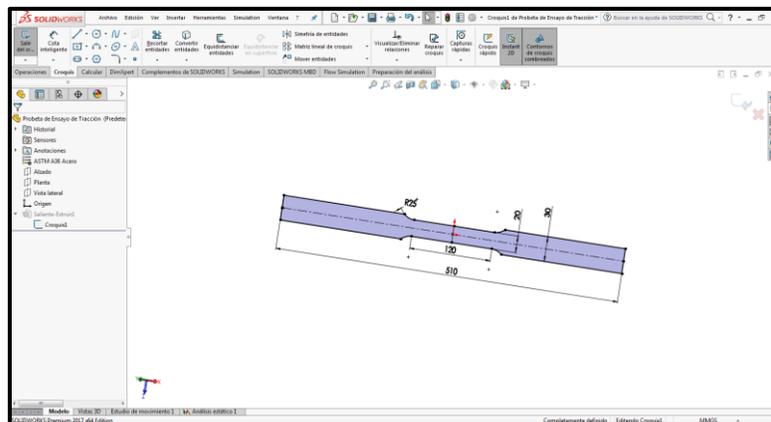


Figura 23. Croquizado de la Probeta

El siguiente paso es generar el volumen en 3D mediante la extracción como se detalla en la Figura 24.

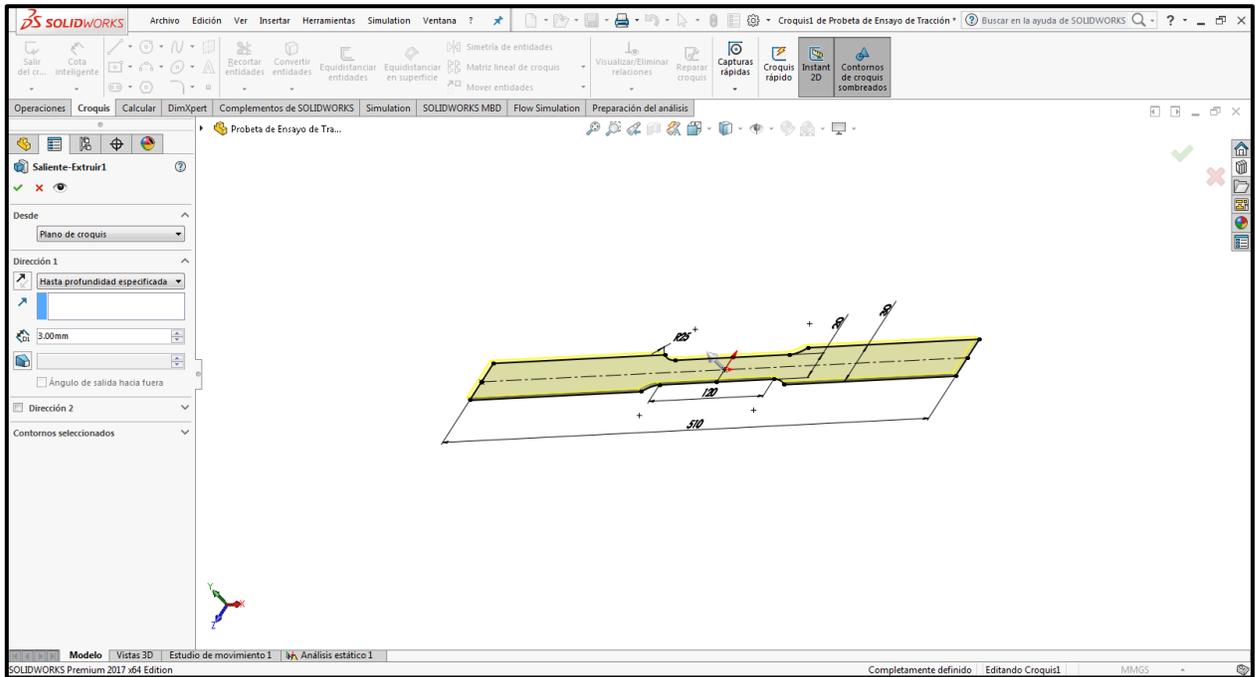


Figura 24. Extrusión del croquizado de la Probeta

Obteniendo el modelado de la siguiente manera que es:

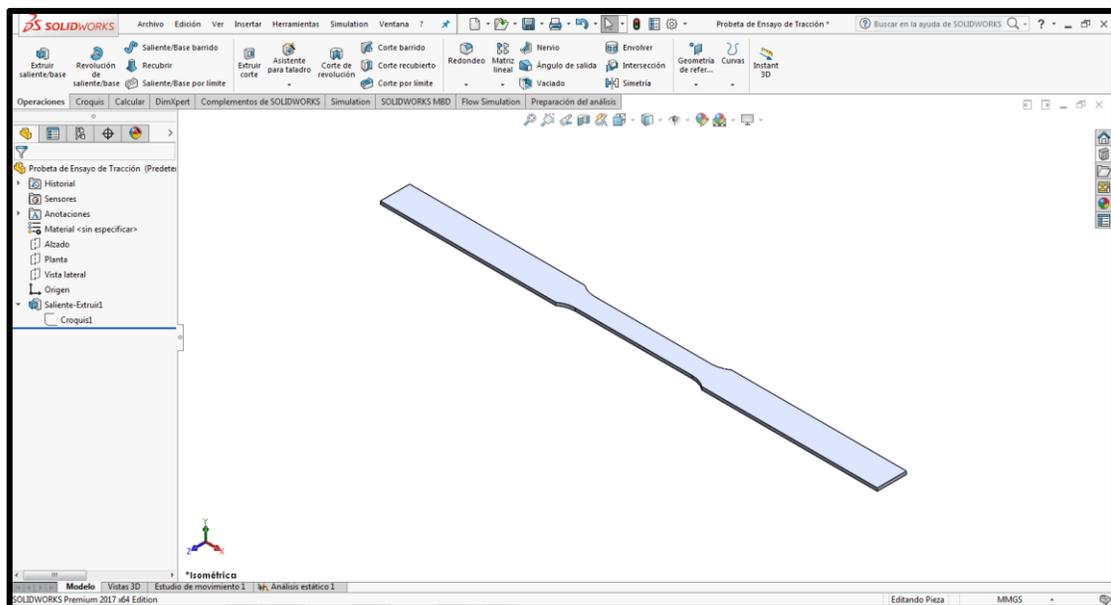


Figura 25. Modelamiento de la probeta

Otro parámetro a tener presente es el material, al cual se le asigna un Acero Estructural ASTM A36, el mismo que tiene las siguientes propiedades.

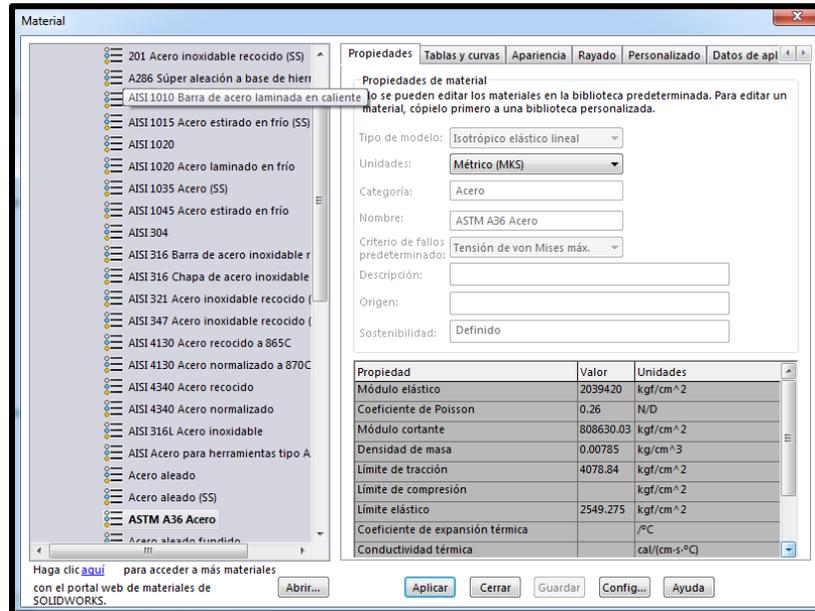


Figura 26. Material de la Probeta ASTM A36

Finalmente se tiene el modelado ubicado el material como se detalla a continuación.

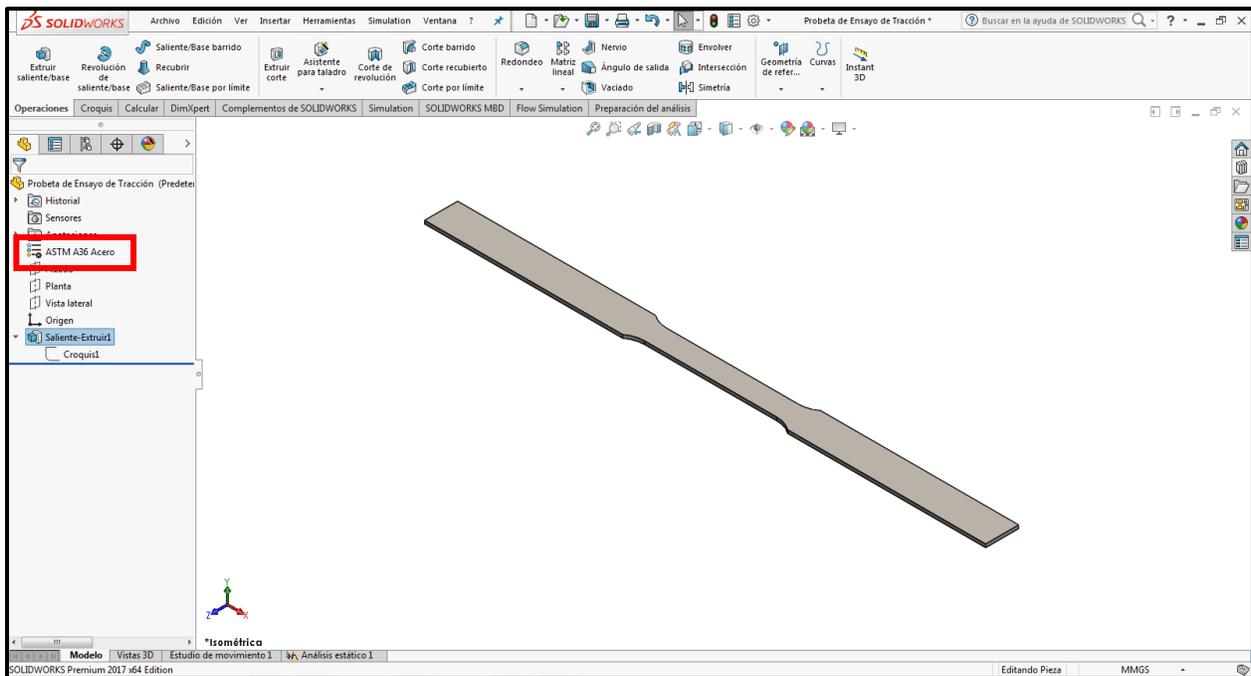


Figura 27. Modelado de la Probeta ASTM A36

### *Análisis de Tracción*

El análisis de tracción a efectuarse, permite obtener tensiones, deformaciones y desplazamientos, como se detalla en la Figura 28, para lo cual se debe activar el complemento denominado “Simulation”.

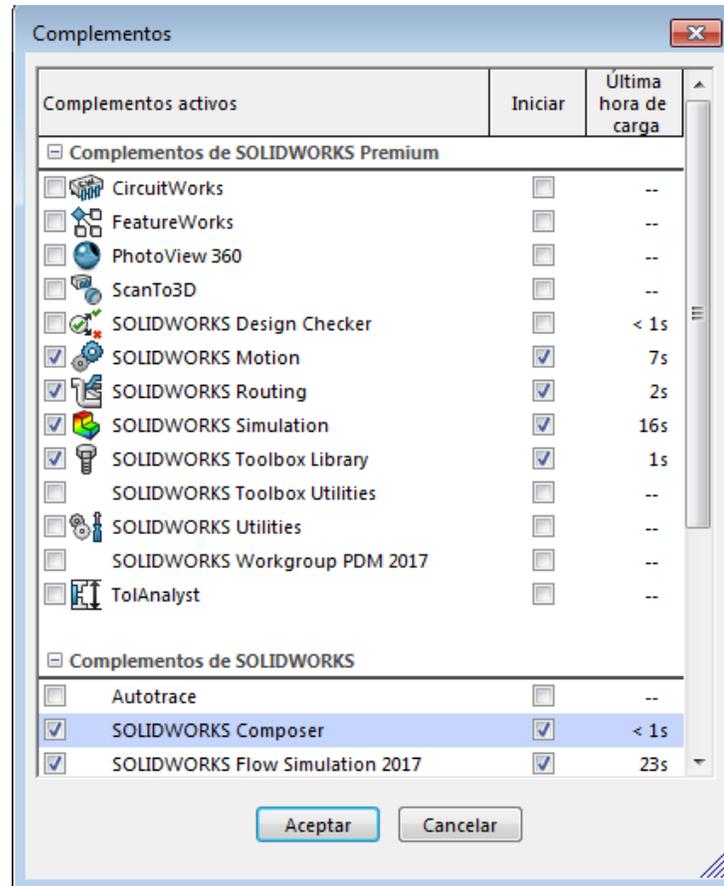


Figura 28. Activación del complemento SOLIDWORKS Simulation

En la barra de herramientas aparece el comando de simulación procediéndose a su vez a activar el Nuevo Estudio, como se detalla en la Figura 29.

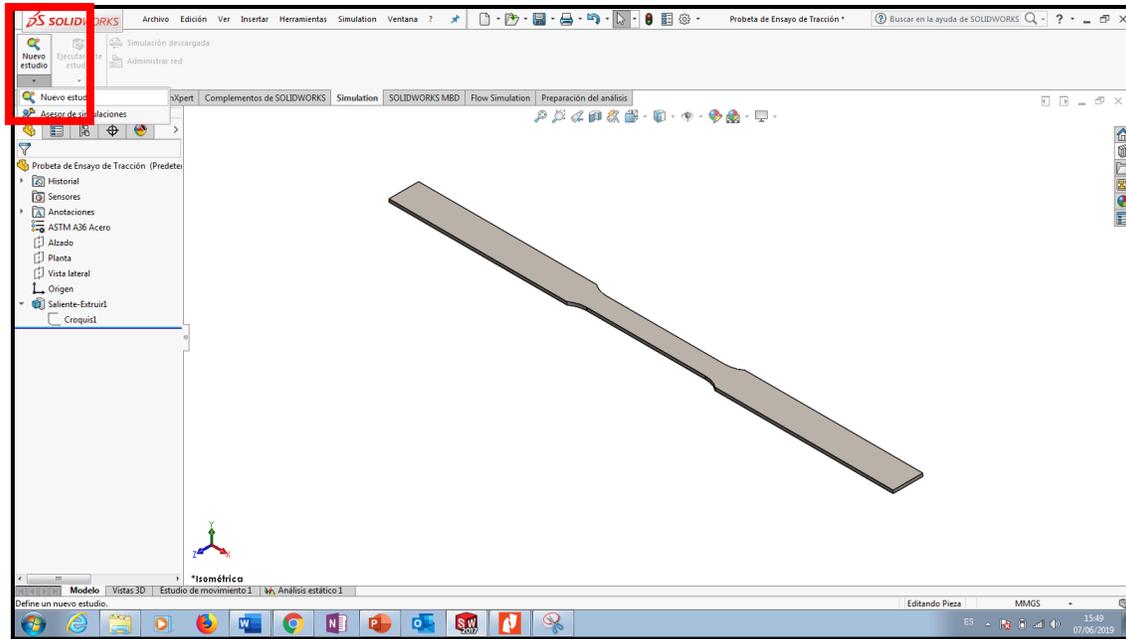


Figura 29. Activación del Nuevo Estudio

Una vez activado el comando de Nuevo Estudio, se procede a determinar en el Gestor de Diseño el Tipo de Análisis que se requiere realizar como es el Estático, como se detalla en la Figura 30.

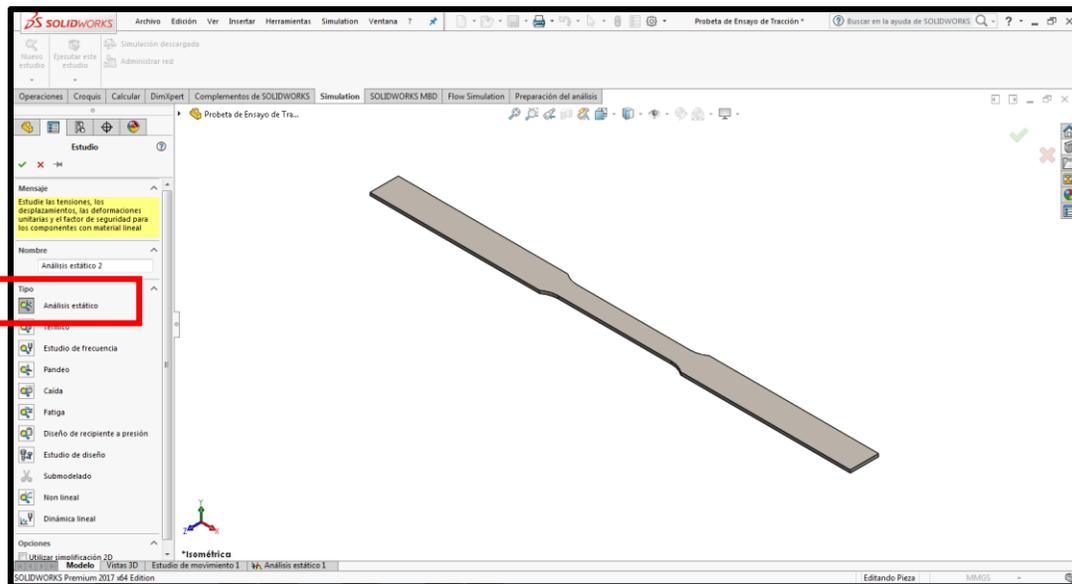


Figura 30. Selección de Análisis Requerido

Una vez elegido el Tipo de Análisis se procede a observar la Zona Gráfica, como queda la probeta en el Estudio de Tipo Análisis Estático.

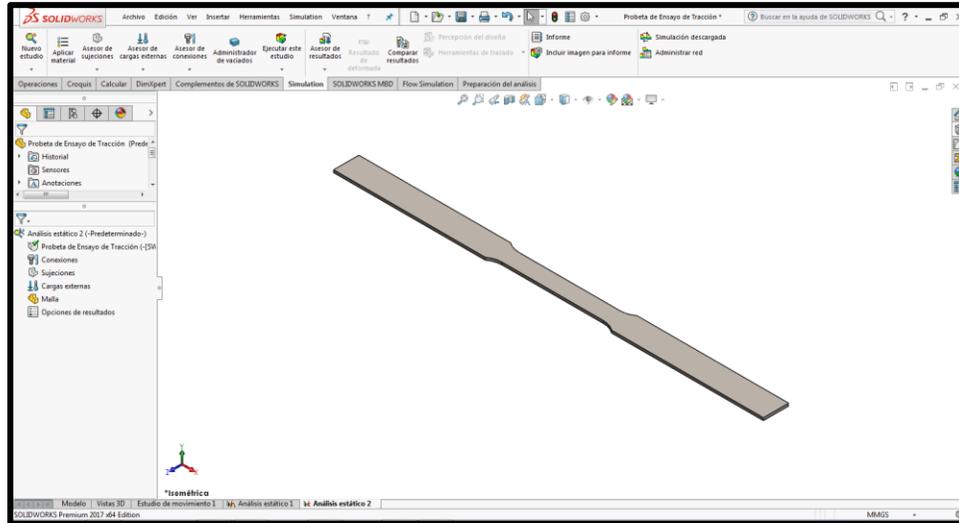


Figura 31. Análisis de la Probeta útil para Tracción

A continuación, se ubican las restricciones y cargas máximas a usar como se indica en la Figura 33, como ( $F = 7834.124 \text{ N}$ )

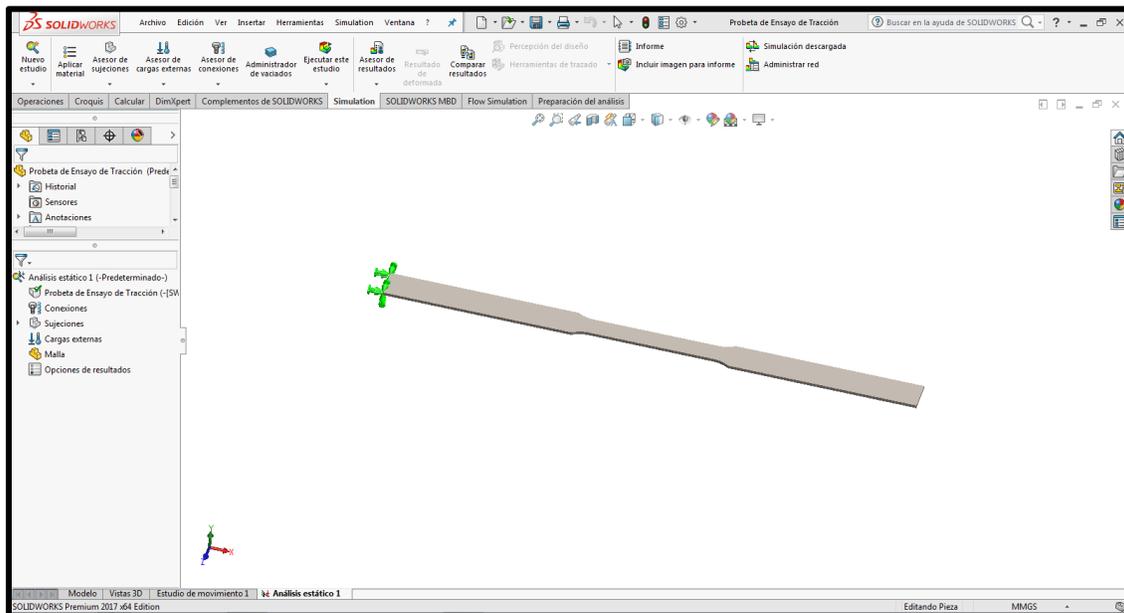


Figura 32. Ubicación de restricciones en la Probeta útil para Tracción

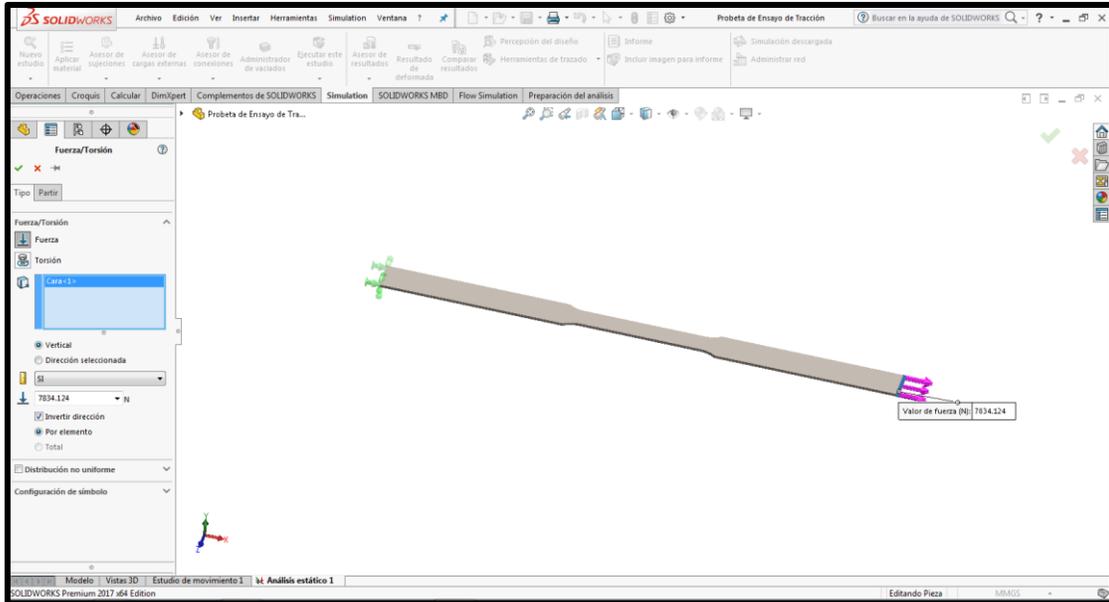


Figura 33. Ubicación de las cargas en la Probeta útil para Tracción

Finalmente se procede al mallado del análisis, donde se definen parámetros de mallados finos con 4 puntos jacobianos como se especifica.

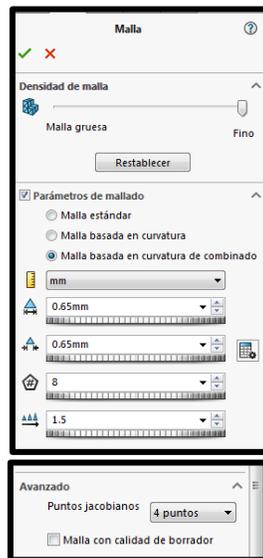


Figura 34. Parámetros de mallado en la Probeta útil para la Tracción

Una vez ubicado los parámetros de mallado se debe proceder a la ejecución, dando como resultado.

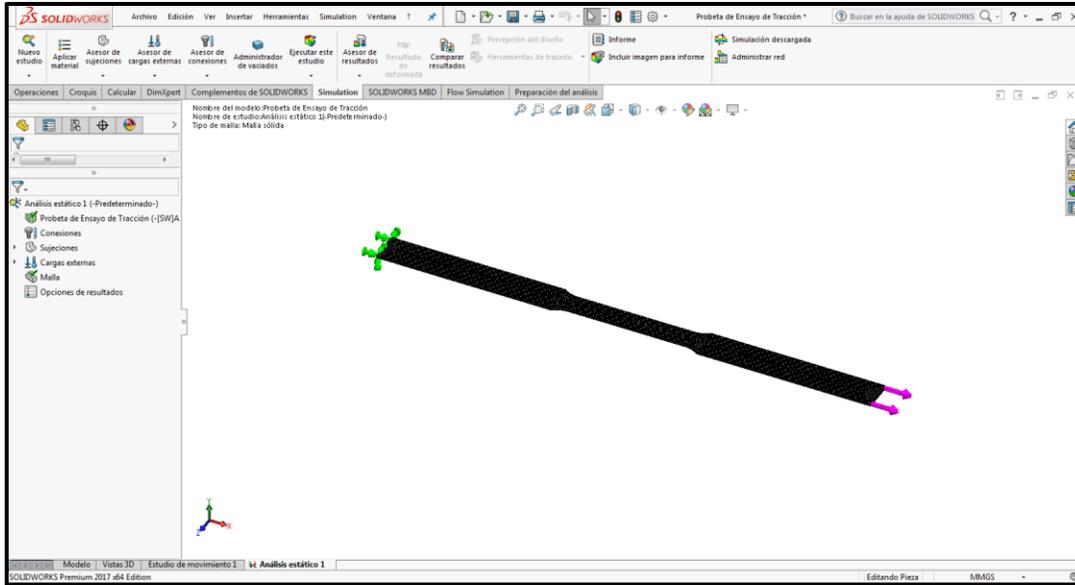


Figura 35. Mallado de la Probeta útil para la Tracción

El ante penúltimo paso es proceder a ejecutar como se detalla en la Figura 36.

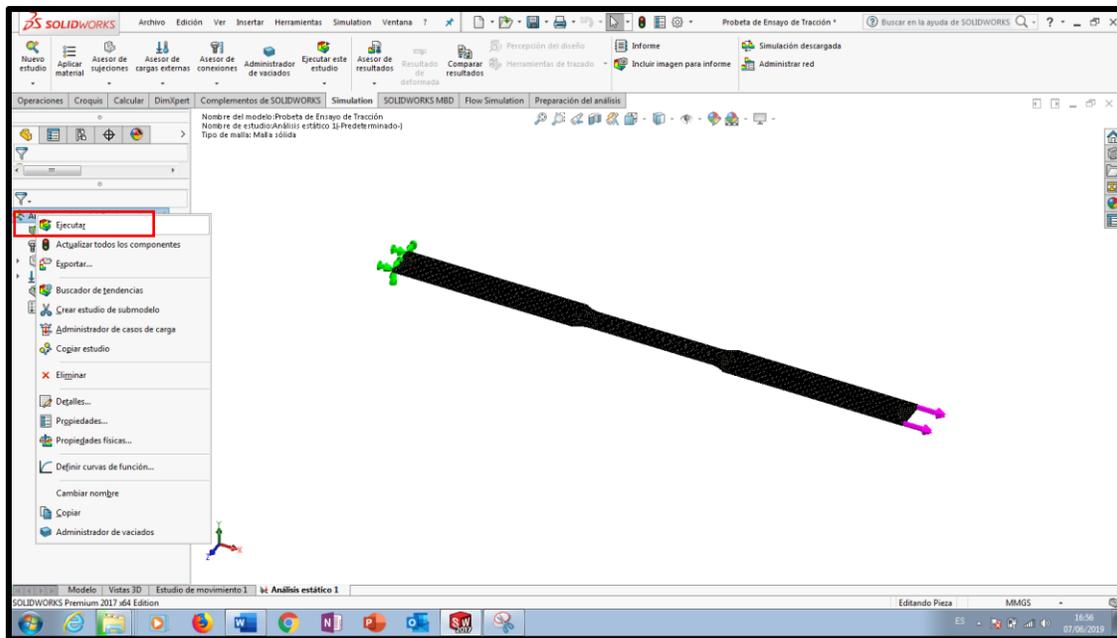


Figura 36. Procedimiento de Ejecución del Análisis de la Probeta útil para la Tracción

El último paso es proceder a ejecutar como se detalla en la Figura 37

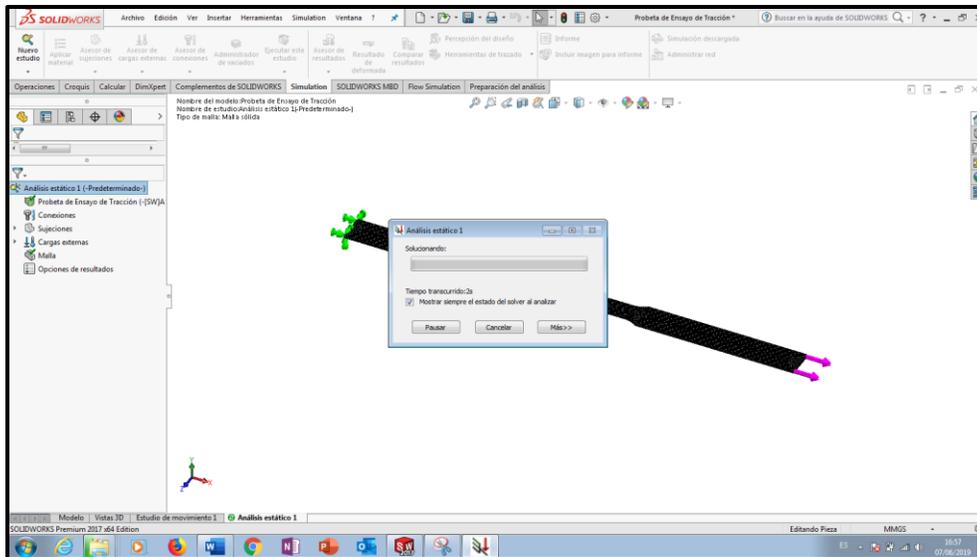


Figura 37. Ejecución del Análisis de la Probeta útil para la Tracción

### Análisis de Flexión

Una vez definido las dimensiones al igual que en el modelamiento anterior se inicia seleccionando las medidas.

Una vez que se detallan las medidas se procede a bosquejar la probeta como se observa.

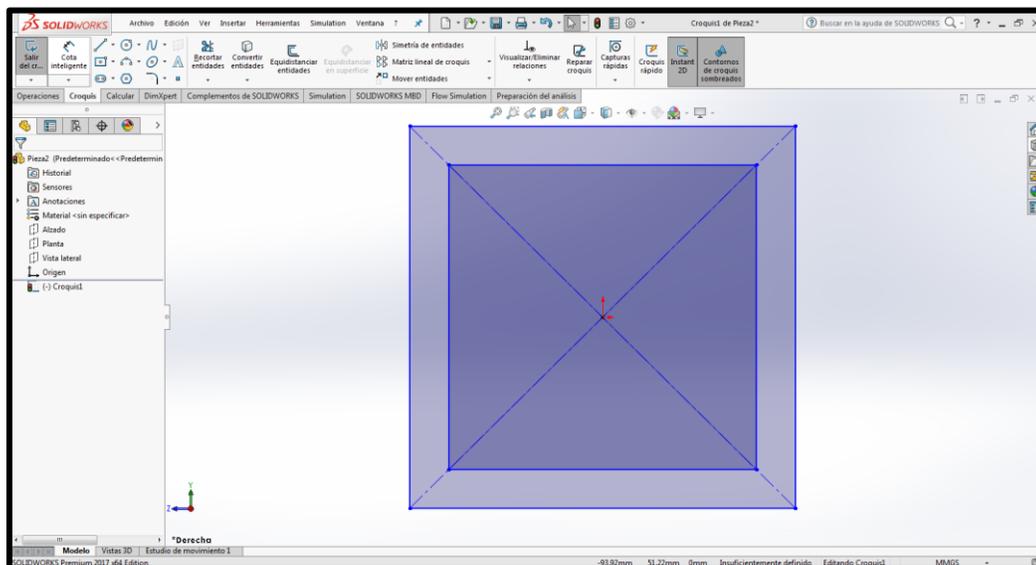


Figura 38. Bosquejo de la Probeta para Ensayo de Flexión

A continuación, se procede a croquizar el diseño de la probeta para ensayo de flexión, de la siguiente manera:

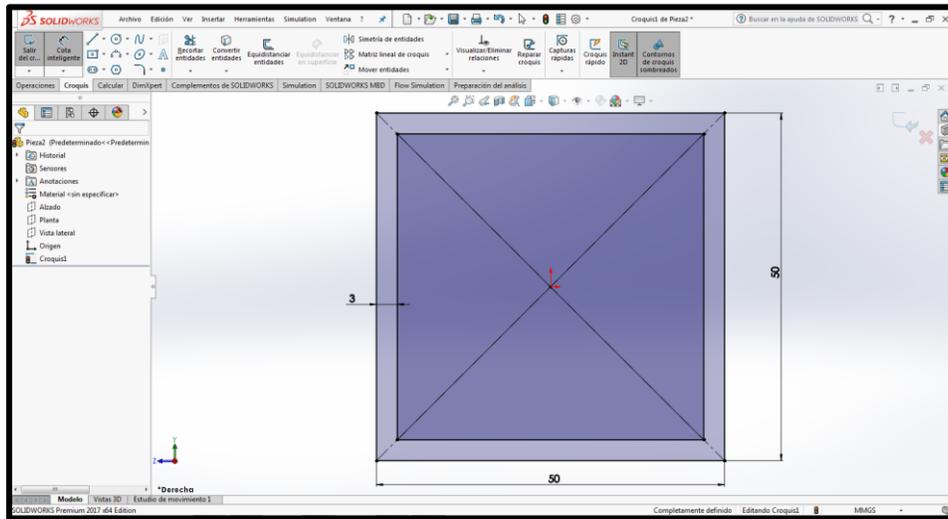


Figura 39. Croquizado de la Probeta para ensayo de flexión

El siguiente paso es generar el volumen en 3D de la probeta para ensayos de flexión, mediante la extracción como se detalla en la Figura 40.

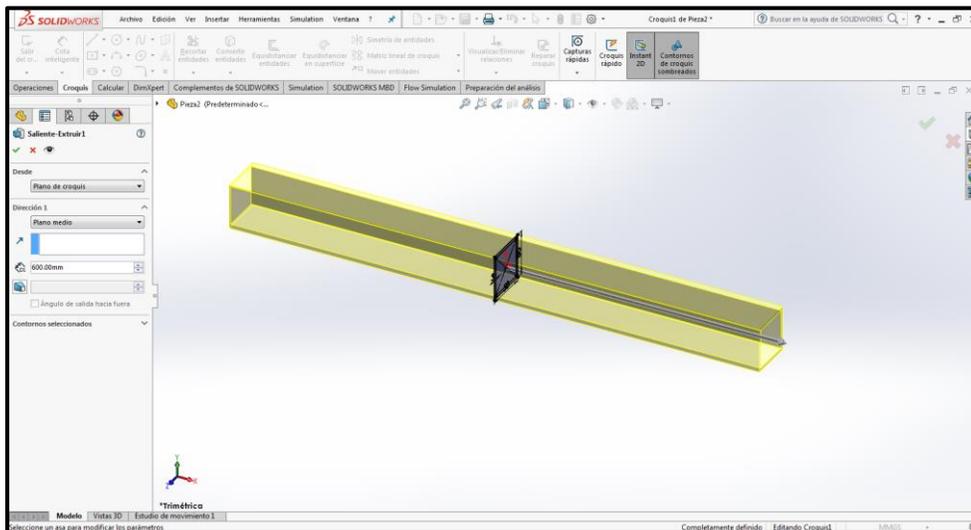


Figura 40. Extrusión del croquizado de la Probeta para Ensayo de Flexión

Obteniendo el modelado de la siguiente manera que es:

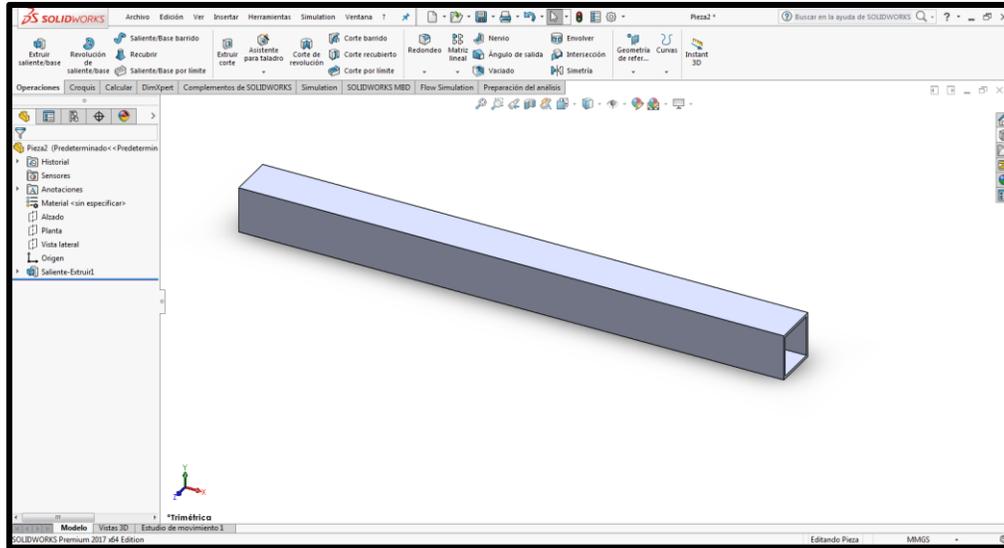


Figura 41. Modelamiento de la probeta

Otro parámetro a tener presente es el material, al cual se le asigna un Acero Estructural ASTM A36, el mismo que tiene las siguientes propiedades.

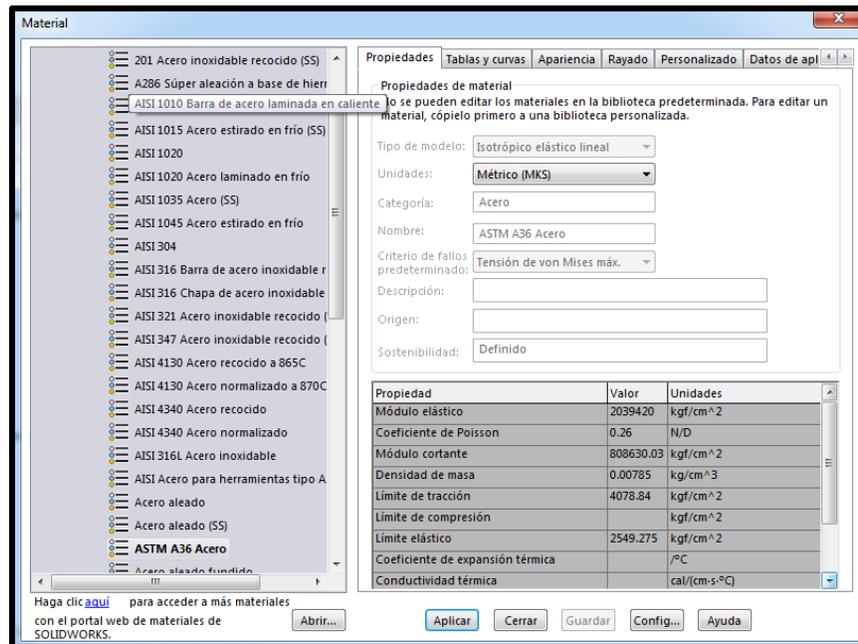


Figura 42. Material de la Probeta para Ensayo de Flexión ASTM A36

Finalmente se tiene el modelado ubicado el material de la probeta para Ensayo de Flexión, como se especifica a continuación.

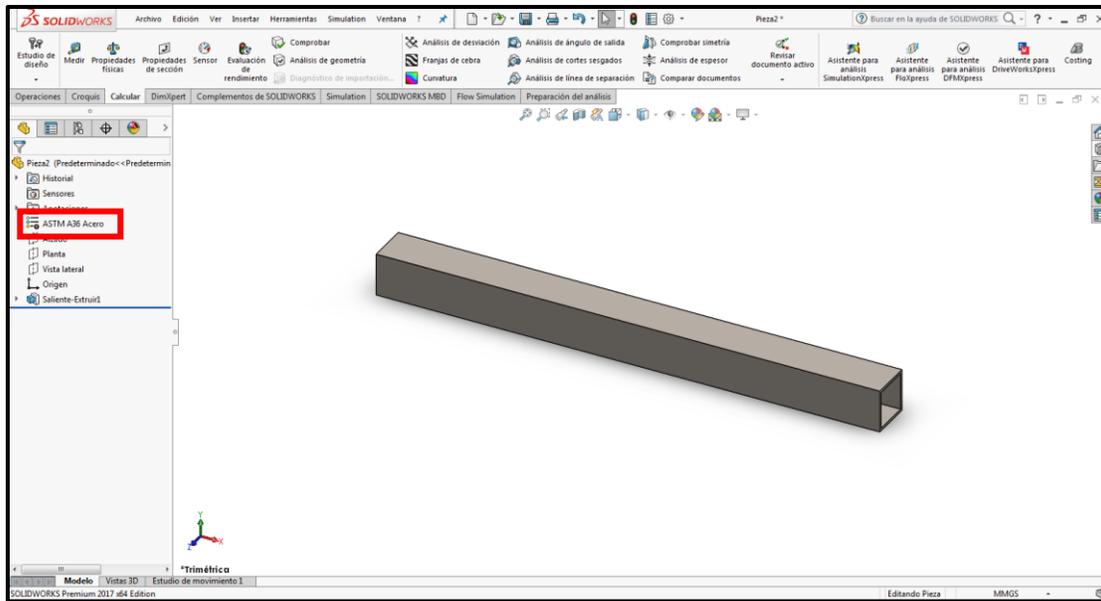


Figura 43. Modelado de la probeta ASTM A36

El análisis de flexión a efectuarse, permite obtener tensiones, deformaciones y desplazamientos, para lo cual se debe activar el complemento denominado “Simulation”.

En la barra de herramientas aparece el comando de simulación procediéndose a su vez a activar el Nuevo Estudio, como se detalla en la Figura 44.

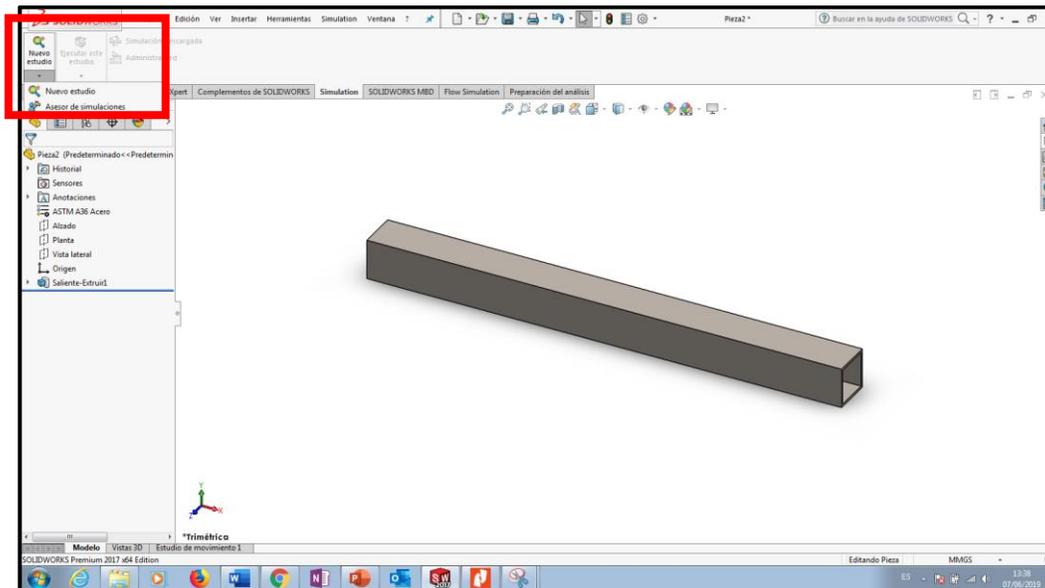


Figura 44. Activación del Nuevo Estudio para el Análisis de la Probeta a Flexión

Una vez activado el comando de Nuevo Estudio, se procede a determinar en el Gestor de Diseño el Tipo de Análisis que se requiere realizar como es el Estático, como se detalla en la Figura 45.

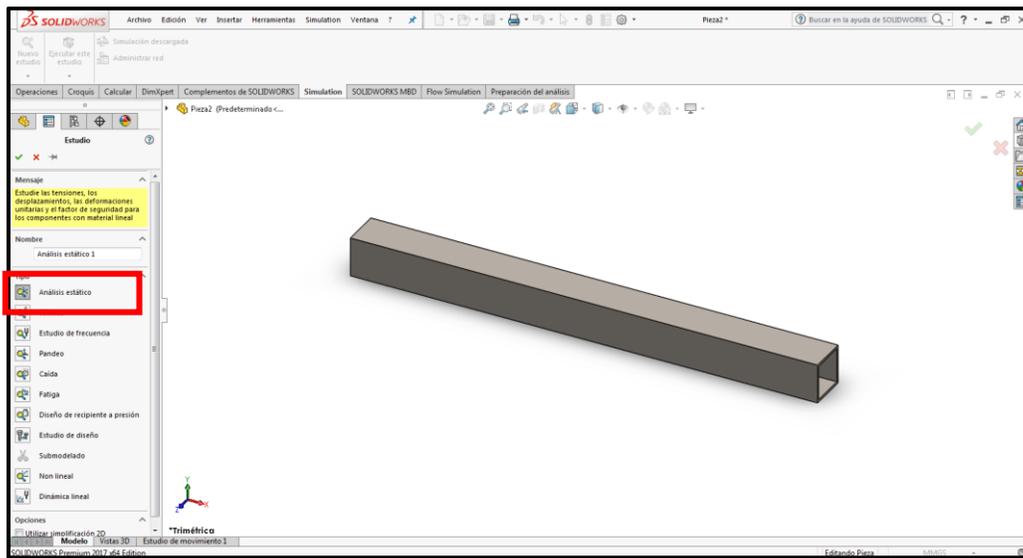


Figura 45. Selección de Análisis Requerido de la Probeta para Ensayo de Flexión

Una vez elegido el Tipo de Análisis se procede a observar la Zona Gráfica, como queda la probeta en el Estudio de Tipo Análisis Estático.

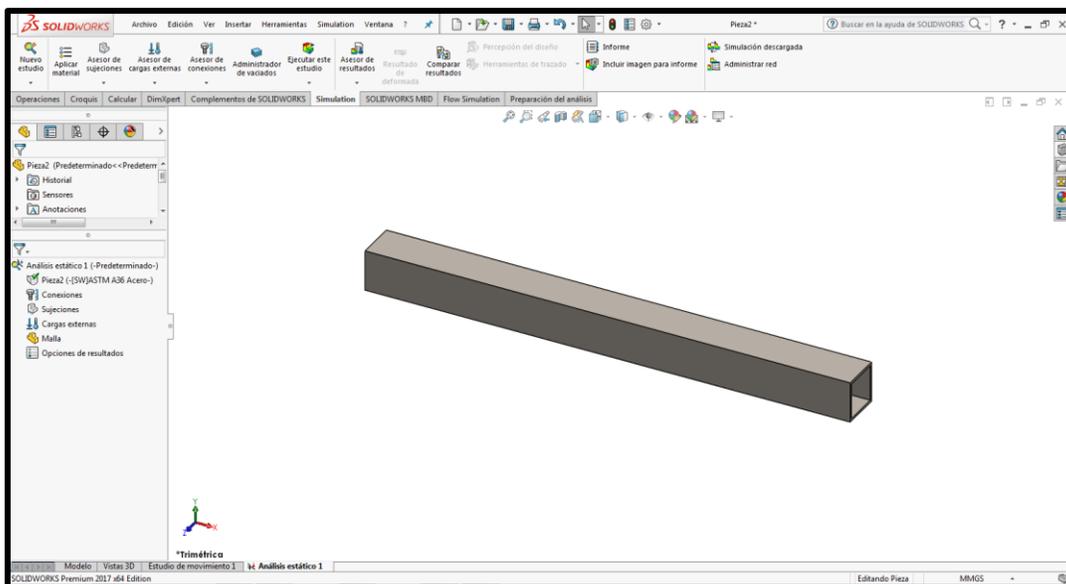


Figura 46. Análisis de la Probeta útil para Flexión

Para poder ubicar las cargas y restricciones, señalamos líneas mediante el comando líneas de partición como se observan.

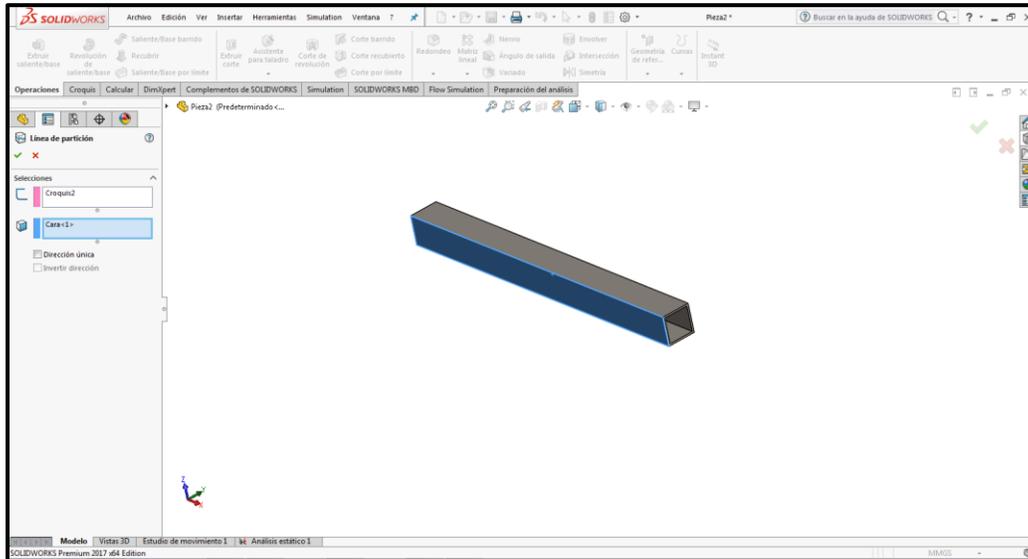


Figura 47. Trazado de líneas para restricciones para la Probeta útil para Flexión

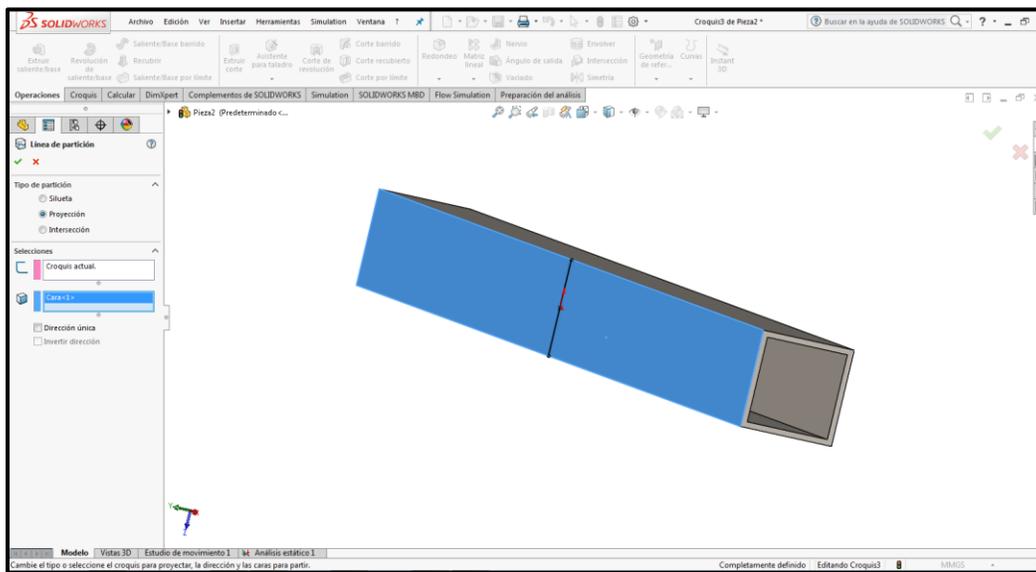


Figura 48. Trazado de líneas para ubicar Cargas para la Probeta útil para Flexión

A continuación, se ubican las restricciones y cargas máximas a usar como se indica en la Figura 50, como ( $F = 1225.954 \text{ N}$ )

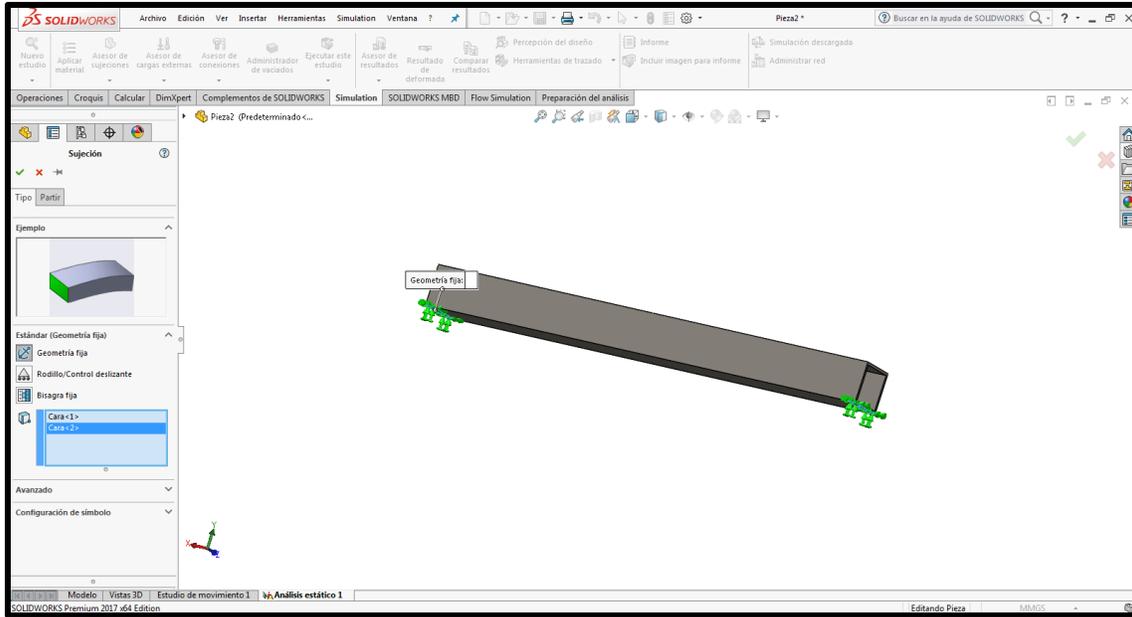


Figura 49. Ubicación de restricciones en la Probeta útil para Flexión

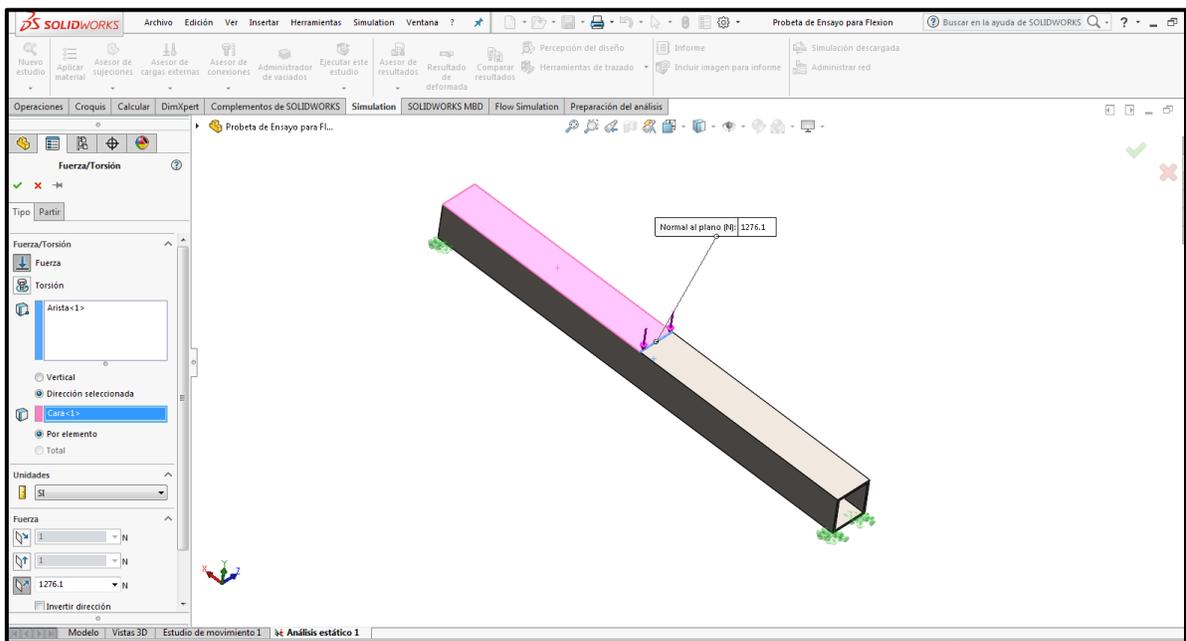


Figura 50. Ubicación de las cargas en la Probeta útil para Flexión

Finalmente se procede al mallado del análisis, donde se definen parámetros de mallados finos con 4 puntos jacobianos como se observa a continuación.

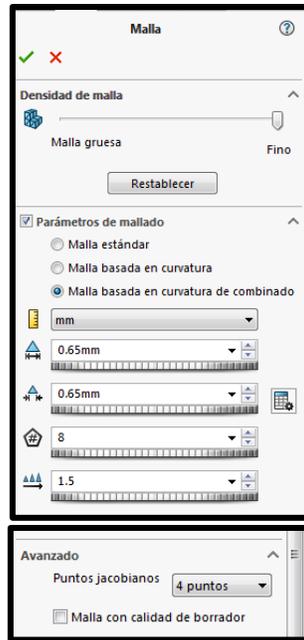


Figura 51. Parámetros de mado en la Probeta útil para Flexión

Una vez ubicado los parámetros de mado se debe proceder a la ejecución, dando como resultado.

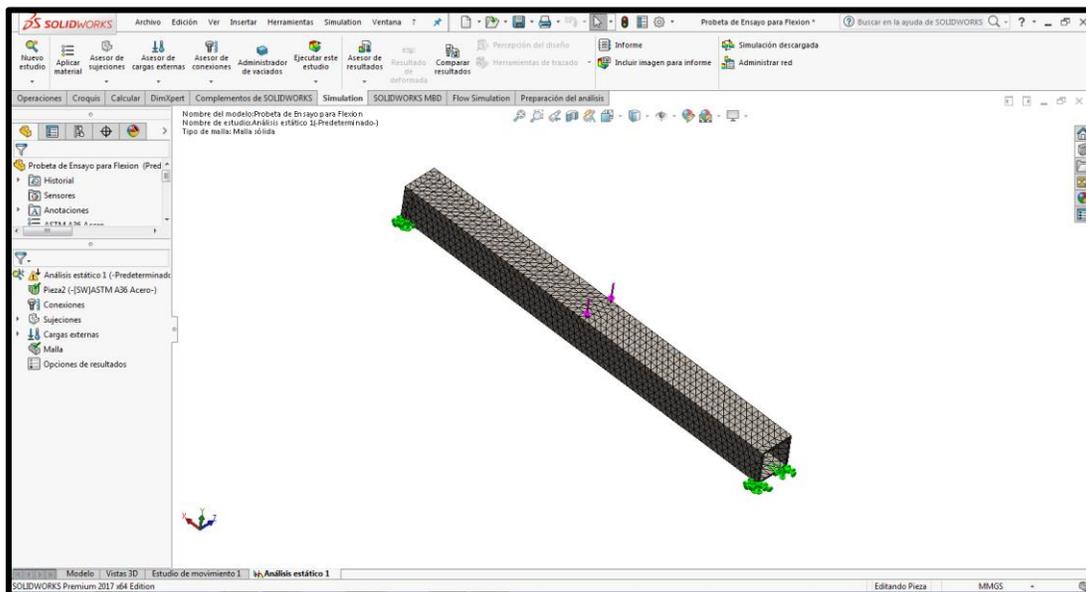


Figura 52. Mado de la Probeta útil para Flexión

El ante penúltimo paso es proceder a ejecutar como se detalla.

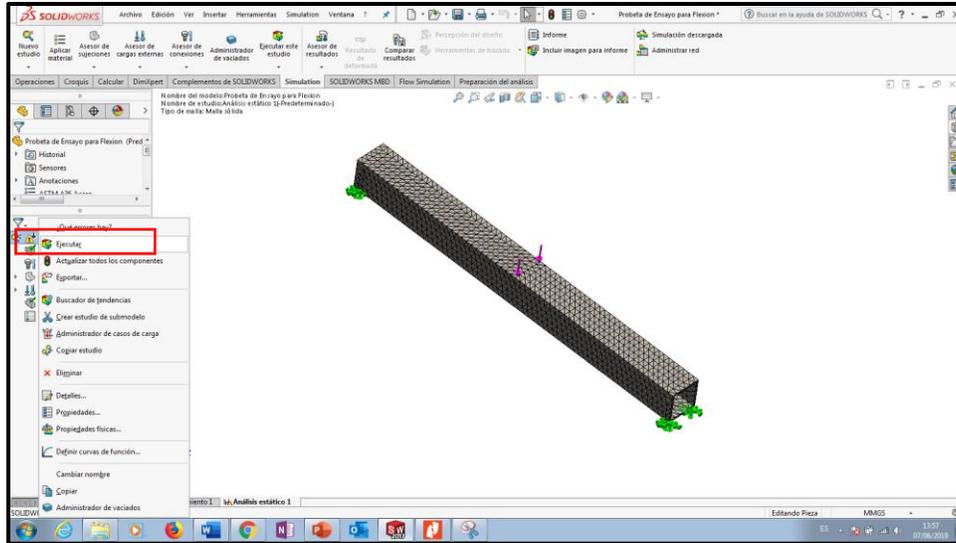


Figura 53. Procedimiento de Ejecución del Análisis de la probeta útil para Flexión

El último paso es proceder a ejecutar como se detalla en la Figura 54.

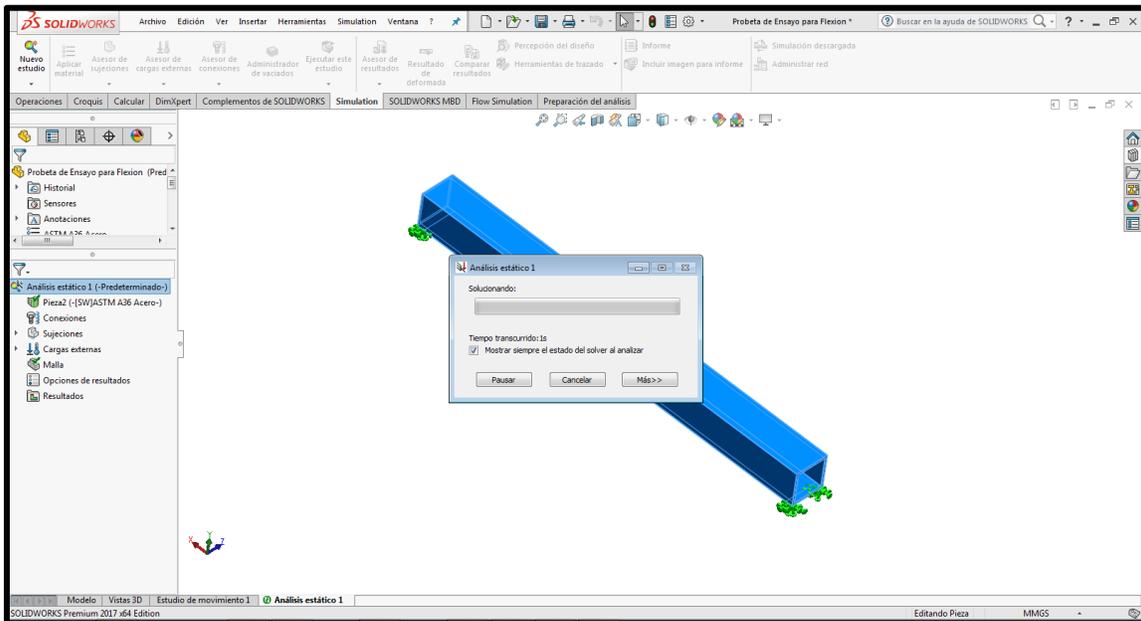


Figura 54. Ejecución del Análisis de la Probeta útil para Flexión

### **Análisis de Laboratorio**

Del análisis de laboratorio originado se obtuvieron.

### **Flexión**

El análisis por flexión de tipo físico se determina de la siguiente manera:



*Figura 55. Ubicación del Tubo Estructural de 50x50x3*

Model	RTF-2430	RTF-2425	RTF-2410	RTF-2350	RTF-2325	RTF-1350	RTF-1325	RTF-1310	RTF-1250	RTF-1225	RTF-1210		
Table / Floor model	Floor model						Table model						
Loading system	Closed-loop microcomputer controlled digital servomechanism						Closed-loop microcomputer controlled digital servomechanism						
Maximum capacity	300 k N	250 k N	100 k N	50 k N	25 k N	50 k N	25 k N	10 k N	5 k N	2.5 k N	1 k N		
Effective test width	590mm						420mm						
Crossthead stroke	1265mm	1160mm						1100mm					
Effective stroke	640mm	748mm	620mm	748mm	718mm	578mm	548mm	598mm	708mm	682mm	770mm		
Crossthead speed	0.0005~500mm/min						0.0005~1000mm/min						
Crossthead speed accuracy	±0.1% during a steady operation in test speed range of 0.05 to 500mm/min.						±0.1% during a steady operation in test speed range of 0.05 to 1000mm/min.						
Crossthead random speed	0.0001mm/min step in crossthead speed range						0.0001mm/min step in crossthead speed range						
Crossthead speed and load capacity	Maximum load capacity in full speed range						Maximum load capacity in full speed range						
Crossthead return speed	500mm/min or 250mm/min	1000mm/min or 500mm/min						1000mm/min or 500mm/min					
Load measurment accuracy	±1% of reading (1/1 ~ 1/500 of load cell rating)	±0.5% of reading (within range of 1/1 ~ 1/500 of load cell rating)						±0.5% of reading (within range of 1/1 ~ 1/500 of load cell rating)					
Load range	Fully automatic range switching (up to 128 folds)						Fully automatic range switching (up to 128 folds)						
Load calibration	One touch operation load calibration with the calibration circuit embedded in the load cell. Equipped with a load cell rating discrimination function						One touch operation load calibration with the calibration circuit embedded in the load cell. Equipped with a load cell rating discrimination function						
Sampling speed	1msec						1msec						
Safety function for overload	Provided						Provided						
Stroke limiter	Upper/lower limit 2 points						Upper/lower limit 2 points						
Dimensions (WxDxH)	1200×750×2470 (mm)	1022×632×2275 (mm)						937×564×1655 (mm)					
Weight	1300kg	780kg						330kg					
Power supply	200V AC, 3ø, 50/60Hz, 3m cable without a plug						200V AC, 3ø, 50/60Hz, 3m cable without a plug						
Power consumption	6000VA	3500VA	2000VA	2000VA	1200VA	2000VA	1200VA	350VA	350VA	300VA	300VA		
Ambient temperature & humidity	Temperature: 5 to 40°C, Humidity: 20 to 80% RH						Temperature: 5 to 40°C, Humidity: 20 to 80% RH						

Figura 56. Características del Equipo de medición

## Tracción

El análisis de Tracción se da en una probeta de un Tubo Cuadrado de 50x50x3 con las siguientes características:



# epoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECANICA  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

FECHA: 31/01/2019

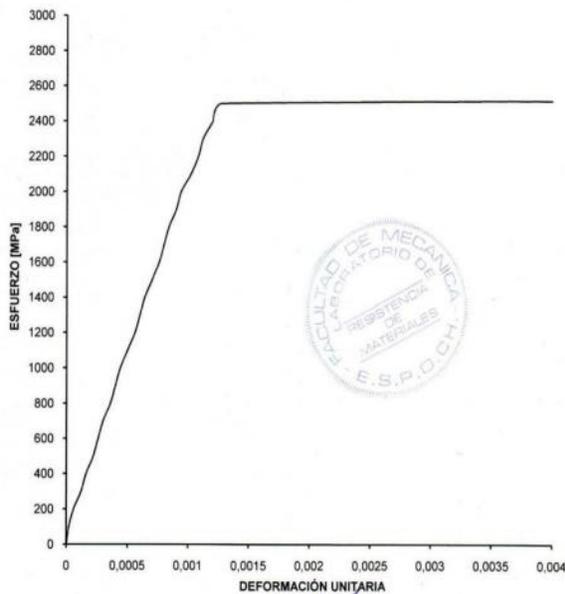
CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ

DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO

MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3

TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500

CARACTERISTICA	PROBETA
BASE [mm]	50
ALTURA [mm]	50
ESPESOR [mm]	3
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	564,0



Aprobado por:

*Anibal Viñán*  
Ing. Anibal Viñán B. M.Sc  
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

## Resultados

### Resultados de Ensayos de Tracción por MEF

A continuación, se describe los resultados alcanzados, bajo el método propuesto indicado anteriormente donde se obtuvieron los siguientes resultados que son:

- **Tensiones originadas**, según la escala de VON Mises, como se indica en la Figura 66, genera una Tensión Promedio de 408.2 MPa, con un color rojizo según el código de colores establecido.

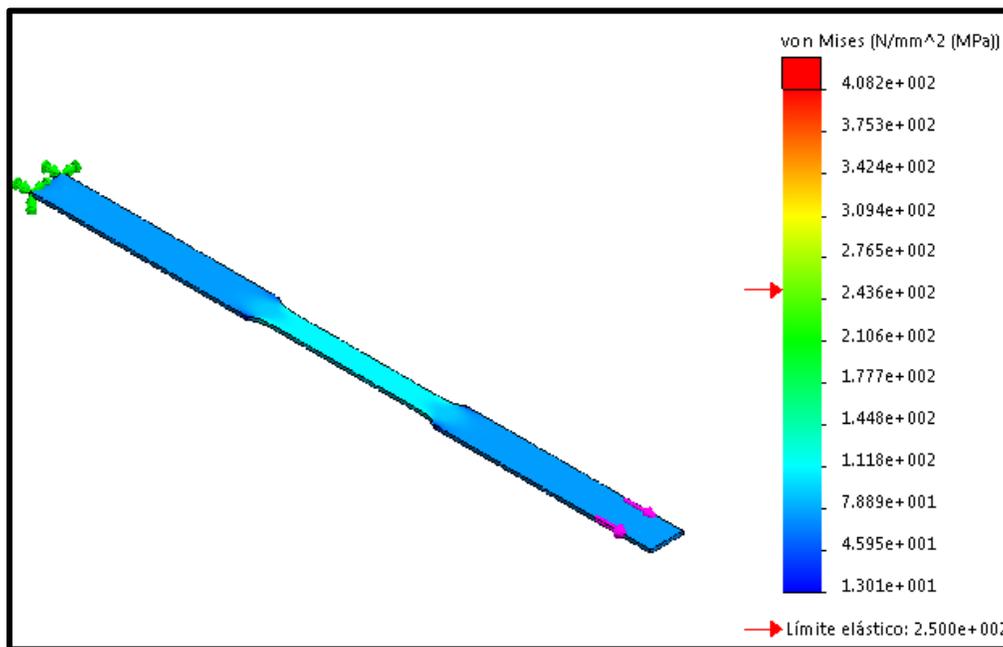


Figura 57. Análisis de Tensiones de la Probeta de Tracción

- **Deformación Unitaria**, brinda la correlación existente entre la deformación total y la inicial de un elemento, originándose en su mayoría de 0.0006656, como se detalla en la Figura 58.

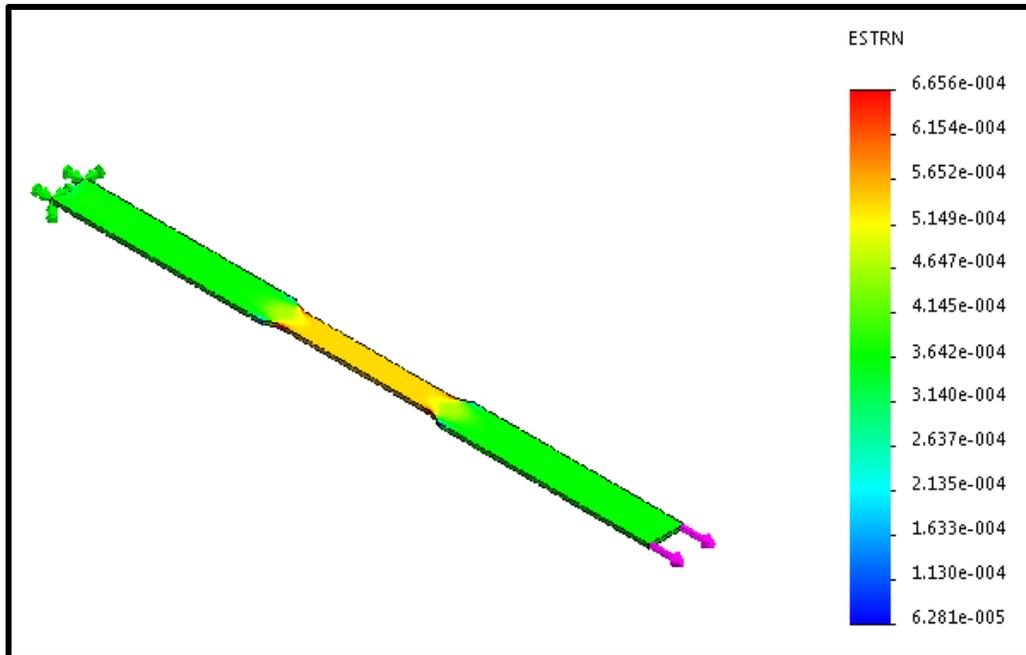


Figura 58. Análisis de Deformación Unitaria de la Probeta de Tracción

- **Desplazamiento**, este resultado indica que el máximo desplazamiento o deformación que se puede generar en la probeta es de 2.91 mm, como se detalla en la Figura 59.

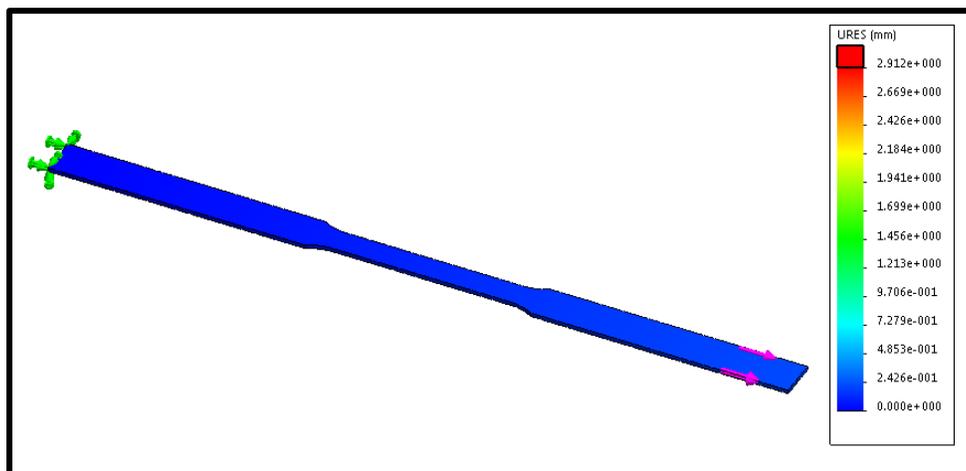


Figura 59. Resultado de Análisis de Desplazamiento de la Probeta de Tracción

## Resultados de Ensayos de Tracción Físicos

Los resultados físicos de los ensayos de tracción elaborados en el Laboratorio de la Escuela Politécnica de Chimborazo, es:



# espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
 FACULTAD DE MECANICA  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN**

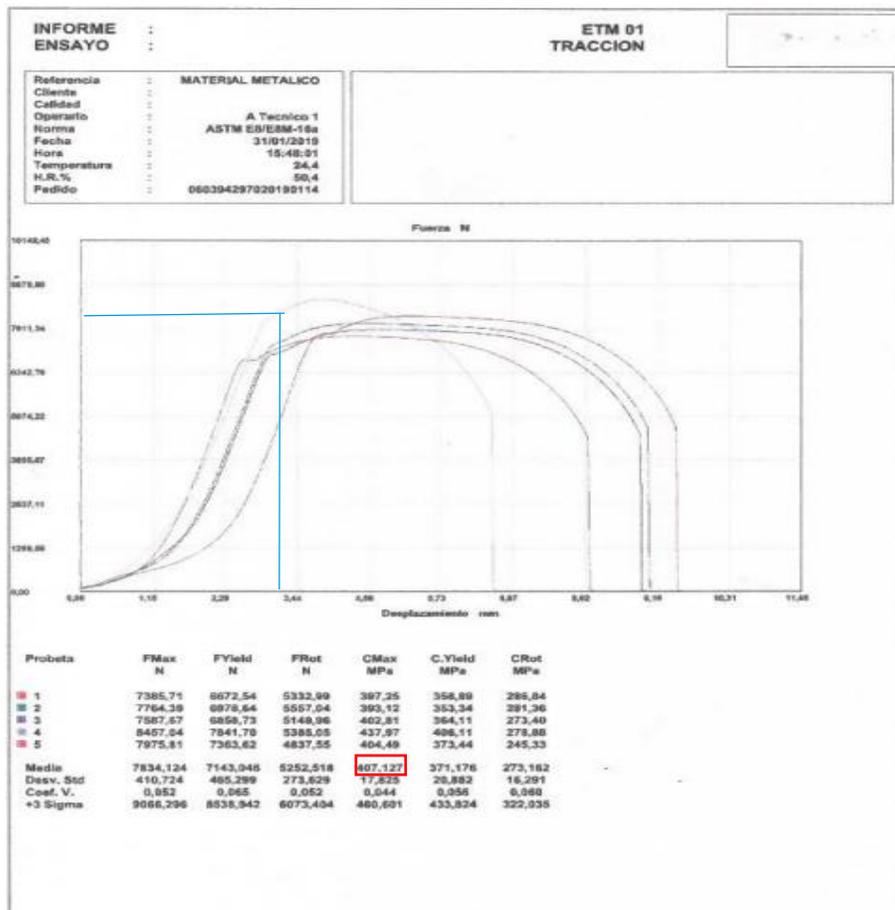
**FECHA: 31/01/2019**

**CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ**

**DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO**

**MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3**

**TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500**



Aprobado por:

*Anibal Viñan*  
 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc  
 PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
 DE RESISTENCIA DE MATERIALES



# esPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECANICA

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

**ENSAYO DE TRACCIÓN**

**FECHA: 31/01/2019**

**CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ**

**DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO**

**MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3**

**TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500**

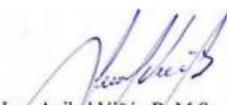
### Parametros

Precarga	=	100,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	45000,00	N
Limite Desplazamiento	=	100,00	mm
Stop Ext	=	80,00	mm

### Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	25,00	mm/min
Posicionamiento	=	500,00	mm/min

Aprobado por:

  
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc  
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
DE RESISTENCIA DE MATERIALES

## Resultados de Ensayos de Flexión por MEF

A continuación, se describe los resultados alcanzados, bajo el método propuesto indicado anteriormente donde se obtuvieron los siguientes resultados que son:

- **Tensiones** originadas, según la escala de VON Mises, como se indica en la Figura 60, se origina una Tensión Máxima de 9.852 MPa, en el centro de la probeta con un color rojizo según el código de colores establecido por el Software, como se lo puede observar.

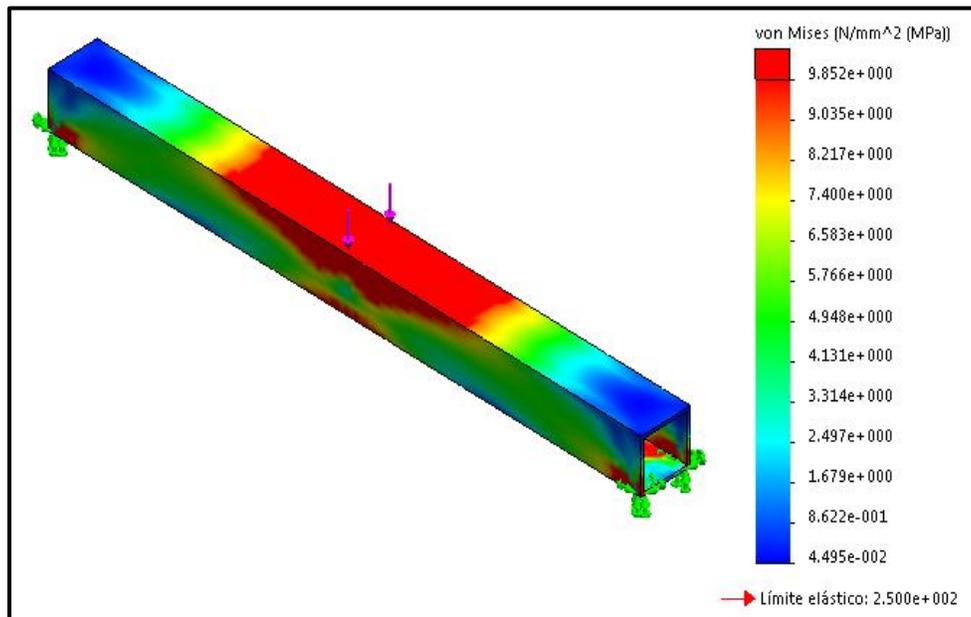


Figura 60. Análisis de Tensiones de la Probeta de Flexión.

- **Deformación Unitaria**, brinda la correlación existente entre la deformación total y la inicial del elemento, originándose la máxima de 0.000026565, como se detalla en la Figura 61.

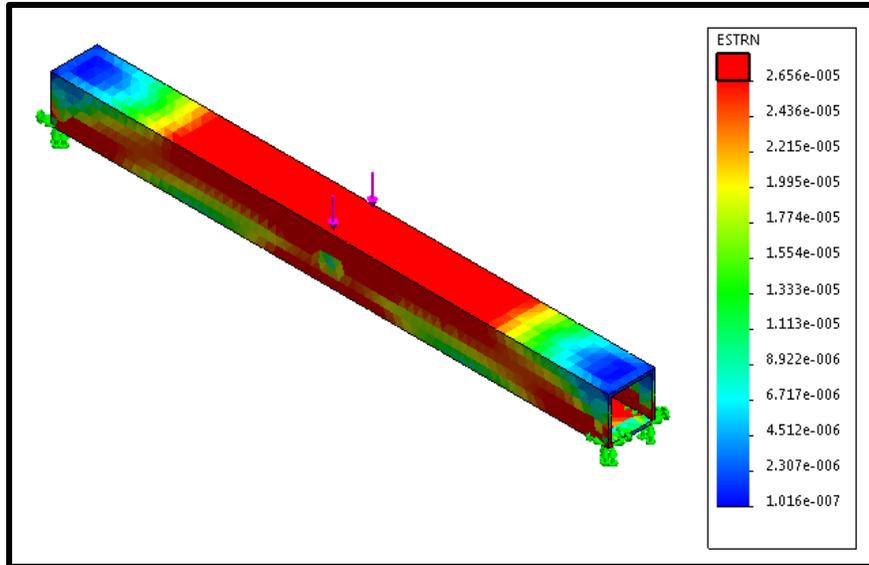


Figura 61. Análisis de Deformación Unitaria de la Probeta de Flexión

- **Desplazamiento**, este resultado indica que el máximo desplazamiento o deformación que se puede generar en la probeta es de 2.522 mm, como se detalla en la Figura 62.

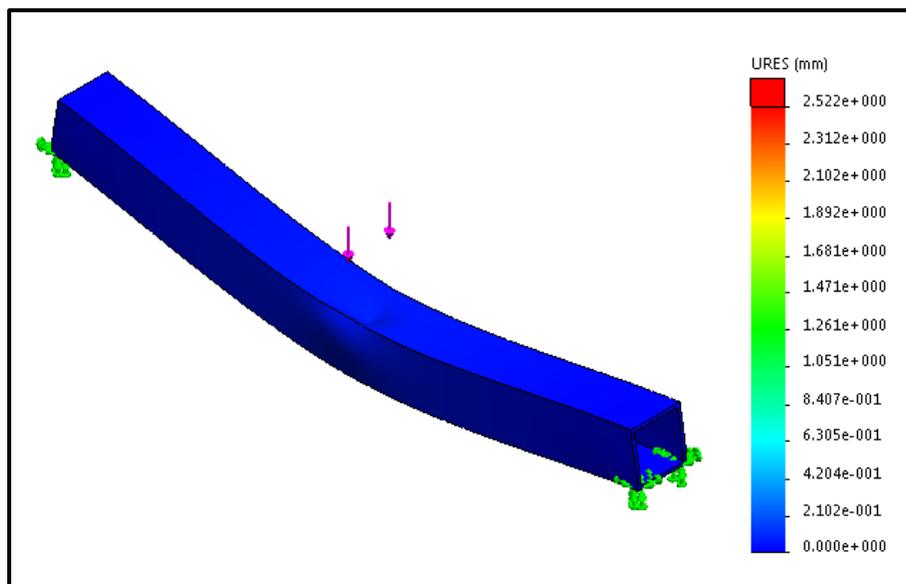


Figura 62. Resultado de Análisis de Desplazamiento de la Probeta de Flexión

## Resultados de Ensayos de Flexión Físicos

Los resultados físicos de los ensayos de flexión elaborados en el Laboratorio de la Escuela Politécnica de Chimborazo, es:



# esPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
 FACULTAD DE MECANICA  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN**

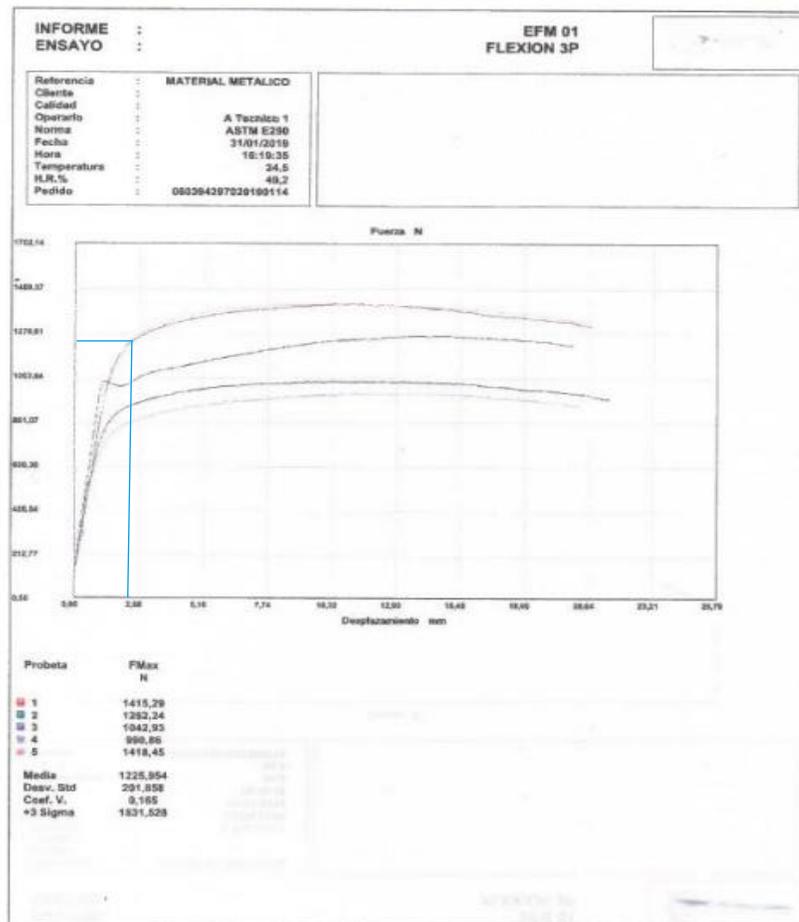
**FECHA: 31/01/2019**

**CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ**

**DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO**

**MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3**

**TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500**



Aprobado por:

*Anibal Viñan*  
 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc  
 PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
 DE RESISTENCIA DE MATERIALES



# epoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
 FACULTAD DE MECANICA  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN**

**FECHA:** 31/01/2019

**CLIENTE:** ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ

**DIRECCIÓN:** PICHINCHA / QUITO

**MATERIAL:** TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3

**TIPO DE MATERIAL:** ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500

**Parametros**

Precarga	=	100,00	N
Caída %	=	20,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	50000,00	N
Limite Desplazamiento	=	40,00	mm

**Velocidades**

Precarga	=	50,00	mm/min
Ensayo	=	20,00	mm/min
Retorno	=	500,00	mm/min
Posicionamiento	=	500,00	mm/min

**Cálculos**

Distancia Apoyos	=	100,00	mm
------------------	---	--------	----

Aprobado por:

  
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc  
 PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
 DE RESISTENCIA DE MATERIALES

*Figura 60. Resultado de los Ensayo de Flexión*

Con

F: 1225.954 N

A = 132 mm<sup>2</sup>

Por lo que:

$$Esfuerzo = \frac{F}{A} = \frac{1225.954 N}{132 mm^2} = 9.287530 MPa \quad (11)$$

### Cálculos de ensayos de Flexión

En base a la Fuerza se procede a definir la Tensión de la siguiente manera, según Shigley, (2008) pag. 217.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Donde:

- Esfuerzo Máximo =  $\sigma$
- Área =  $b \times h$
- Fuerza de impacto = 1225.954 N

Por lo que:

Según el gráfico la distancia que cubriría la carga sería de:  $50 - 3 - 3 = 44$  mm

- Por lo que  $h = 44$  mm
- Y el ancho  $b = 3$  mm

Por lo que:

$A = b \times h = 44 \times 3 \text{ mm} = 132 \text{ mm}^2$ , según la Figura 36.

Una vez definido el área se procede a calcular el Esfuerzo Máximo

$$\sigma = \frac{1225.954 \text{ N}}{132 \text{ mm}^2} = \mathbf{9.28 \text{ MPa}}$$

Según Shigley (2008) pg 995, se determina que el desplazamiento máximo originado en función de Y es:

$$Y_{m\acute{a}x} = -\frac{Fl^3}{84EI} \quad (11)$$

Donde:

- F = Fuerza de impacto = 1225.954 N
- L = Longitud = 600 mm/pero como la carga se da en la mitad de la probeta entonces al longitud seria de 300 mm
- E = Elasticidad = 210000 N/mm<sup>2</sup>
- I = Inercia =
- Y máx = Desplazamiento en Y =

Por lo que:

$$I = \frac{h^3b}{12} = \frac{(3 \text{ mm})^3 * 300 \text{ mm}}{12} = 675 \text{ mm}^4 \quad (12)$$

$$Y_{m\acute{a}x} = -\frac{(1225.954 \text{ N})(300 \text{ mm})^3}{84 * 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 675 \text{ mm}^4} = -2.77 \text{ mm}$$

### Cálculos de ensayos de tracción

En base a la Fuerza se procede a definir la Tensión de la siguiente manera, según Shigley, (2008) pag. 217.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

- Esfuerzo Máximo =  $\sigma$
- Área =  $b \times h$
- Fuerza de impacto = 7834.124 N

Por lo que:

Según el gráfico la distancia que cubriría la carga sería de:

Por lo que:

- $b = 30 \text{ mm}$
- $h = 0.65 \text{ mm}$ , teniendo presente que es la medida de los triángulos generados por la malla.

Por lo que:

$$A = b \times h = 30 \text{ mm} \times 0.65 \text{ mm} = 19.5 \text{ mm}^2$$

Una vez definido el área se procede a calcular el Esfuerzo Máximo

$$\sigma = \frac{7834.124 \text{ N}}{19.5 \text{ mm}^2} = \mathbf{401.75 \text{ MPa}}$$

Según Shigley (2008) pg 995 se determina que el desplazamiento máximo originado en función de Y es:

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{Fl^3}{84EI}$$

Donde:

- $F = \text{Fuerza de impacto} = 7834.124 \text{ N}$
- $L = \text{Longitud} = 120 \text{ mm}$
- $t = \text{Espesor de la placa} = 3 \text{ mm}$
- $E = \text{Elasticidad} = 210000 \text{ N/mm}^2$
- $I = \text{Inercia} =$
- $Y_{\text{máx}} = \text{Desplazamiento en } Y =$

Por lo que:

$$I = \frac{h^3 b}{12} = \frac{(3 \text{ mm})^3 * 120 \text{ mm}}{12} = 270 \text{ mm}^4$$

$$Y_{\text{máx}} = - \frac{(7834.124 \text{ N})(120 \text{ mm})^3}{84 \left( 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) * 270 \text{ mm}^4} = 2.84 \text{ mm}$$

### **Diseño de carrocerías por el Método LRFD (Load Resistance Factor Design)**

Según la Norma NTE INEN 1323 (2009), recomienda que se debe diseñar considerando los factores de seguridad dados por resistencia de materiales, los cuales deben seguir el Método LRFD (Load Resistance Factor Design), que en español quiere decir Diseño de Factor de Resistencia por Carga, donde las combinaciones a escoger para el análisis son:

1.  $1.4 M + V$
2.  $1.2M + 1.6V + 0.5 G$

3.  $1.2 M + 0.5V + 1.6 G$
4.  $1.2M + 1.6F + 0.8 Raf$
5.  $1.2M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 Raf$
6.  $1.2 M + 1.5 Ab + 0.5 V$
7.  $0.9 M - 1.3 Raf$
8.  $0.9 M + 1.3 Raf$

Donde:

- $M =$  Carga Muerta
- $V =$  Carga Viva
- $G =$  Carga de Giro
- $F =$  Carga de Frenado
- $Raf =$  Carga de Resistencia al Aire Frontal
- $Ab =$  Carga de Aceleración Brusca

De las combinaciones planteadas y el elemento, que se requiere analizar cómo es el componente de la cercha superior, se ocupará el número 4, que es  $1.2M + 1.6F + 0.8 Raf$ , en función superior de la suma de las cargas, como no se tiene estos parámetros, se procede a determinarlos:

**M (Carga Muerta)**, según la Norma INEN 1323 (2009), dice que es el peso bruto del chasis, por lo que en base a tres modelos que son:

- Según el GRUPO MAVESA (2018), dice que el chasis modelo FC9JKZS tiene un Peso Bruto Vehicular de 9000 Kg

- Según el GRUPO MAVESA (2018), dice también que el chasis modelo AK8JRSA tiene un Peso Bruto Vehicular de 15700 Kg
- En tanto que Chevrolet (2015), dice que el peso vehicular de sus carrocerías soporta hasta 14500 Kg
- Según la Mercedes Benz (2016), dice que el PBV es de 18500 Kg

En base a estas opciones se escoge el Peso Bruto Vehicular marcado por la Mercedes Benz que es de 18500 Kg.

Por lo que la carga muerta sería de:

Donde:

Mt= Masa total (kg)

g = Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

$$M = Mt * g \quad (13)$$

$$M = 18500 \text{ kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$M = 181300 (N)$$

**(F) Carga de frenado**, es la carga generada por el frenado del vehículo, partiendo de una velocidad recomendada por la Norma INEN 1323 como es de 80 km/h a su peso máximo, a una distancia no superior de 75m, y el peso recomendado de la carrocería es de 2755.42 Kg, por lo que dicha carga es:

Tabla 6.

Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)	
80	250	8	
85	300		
90	350		
95	400		
100	450		
105	500		
110	550		
115	600		
120	700		
125	800		7,51
130	900		6,97
135	1050		6,25
140	1250		5,49
145	1475		4,84
150	1725	4,29	

Fuente (INEN 1323, 2009)

$$f = P_{Calculado} * M = P_{Calculado} * \frac{V1^2 - V0^2}{2S}$$

$$f = 2755.42 \text{ Kg} * \frac{\left(\frac{80\text{km}}{\text{h}}\right)^2 - 0^2}{2*(75 \text{ m})} \quad f = 2755.42 \text{ Kg} * \frac{\left(\frac{80\text{km} * \frac{1000\text{m}}{1 \text{ km}} * \frac{1\text{h}}{3600 \text{Seg}}\right)^2 - 0^2}{2*(75 \text{ m})}$$

$$f = 9071.3 \text{ (N)}$$

**(Raf) Carga por Resistencia Frontal**, según la Norma INEN 1323 (2009), es la carga que actúa sobre el área frontal del bus, por lo que:

$$Raf = \frac{C_x * \rho * Af * v^2}{2} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \quad (14)$$

Donde:

- $C_x$ = Coeficiente de resistencia aerodinámica
- $\rho$ = Densidad del aire  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $Af$ = Área correspondiente a la proyección del autobús  $\text{m}^2$
- $v^2$ = Velocidad del vehículo en  $\frac{\text{m}}{\text{seg}}$

Para el presente cálculo se emplearán los siguientes datos con las siguientes consideraciones:

- Para el cálculo se tomará un valor recomendado por la INEN 1323: 2009, de 80 km/h (22.22 m/seg) que vendría a ser la velocidad máxima promedio del vehículo en la vía en plano.
- Área correspondiente a la proyección del vehículo  $9.23 \text{ m}^2$ .
- Densidad del aire a nivel del mar, condición más crítica.  $1.225 \text{ kg/m}^3$ .
- Coeficiente de resistencia aerodinámica valor mínimo en la norma 0,4.

$$C_{raf} = \frac{0,4 \times 1,225 \times 9,23 \times (22,22)^2}{2}$$

$$C_{raf} = 1116,5(N)$$

Una vez definido los valores se procede a determinar las cargas de la combinación 4 que es:

- $1.2M = 1.2 \times 181300 \text{ N} = 217560 \text{ N}$
- $1.6 F = 1.6 \times 9071.3 \text{ N} = 14514.08 \text{ N}$
- $0.8 R_{af} = 0.8 \times 1116.5 \text{ N} = 893.2 \text{ N}$

Por lo que en base a las cargas definidas los análisis en la estructura son:

### **Parámetros del material 50x50x1.5**

- Material Acero
- Norma: ASTM A 500
- Peso:  $2.29 \text{ Kg/m}$
- Área =  $2.85 \text{ cm}^2$
- Inercia =  $11.06 \text{ cm}^4$
- Módulo de sección:  $4.42 \text{ cm}^3$

- Radio de giro = 1.97 cm
- Módulo elástico = 2039420 Kgf/cm<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson: 0.26
- Módulo Cortante: 808630.03 Kgf/cm<sup>2</sup>
- Densidad de la masa = 0.00785 Kgf/cm<sup>3</sup>
- Límite de tracción: 4078.84 Kgf/cm<sup>2</sup>
- Límite elástico: 2549.275 Kgf/cm<sup>2</sup>

### **Condiciones de frontera**

- Restricciones: fijas en las bases del chasis
- Cargas:
  - 1.2M = 217560 N
  - 1.6 F = 14514.08 N
  - 0.8 Raf = 893.2 N
- Longitud de la malla: 0.65 mm

### **Parámetros del material 50x50x3.0**

- Material Acero
- Norma: ASTM A 500
- Peso: 4.48 Kg/m
- Área = 5.61 cm<sup>2</sup>
- Inercia = 21.20 cm<sup>4</sup>
- Módulo de sección: 8.48 cm<sup>3</sup>

- Radio de giro = 1.91 cm
- Módulo elástico = 2039420 Kgf/cm<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson: 0.26
- Módulo Cortante: 808630.03 Kgf/cm<sup>2</sup>
- Densidad de la masa = 0.00785 Kgf/cm<sup>3</sup>
- Límite de tracción: 4078.84 Kgf/cm<sup>2</sup>
- Límite elástico: 2549.275 Kgf/cm<sup>2</sup>

### **Condiciones de frontera**

- Restricciones: fijas en las bases del chasis
- Cargas:
  - 1.2M = 217560 N
  - 1.6 F = 14514.08 N
  - 0.8 Raf = 893.2 N
- Longitud de la malla: 0.65 mm

Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos

Con Acero ASTM A36, Tubo cuadrado 50x50x1.5, se obtienen los siguientes resultados:

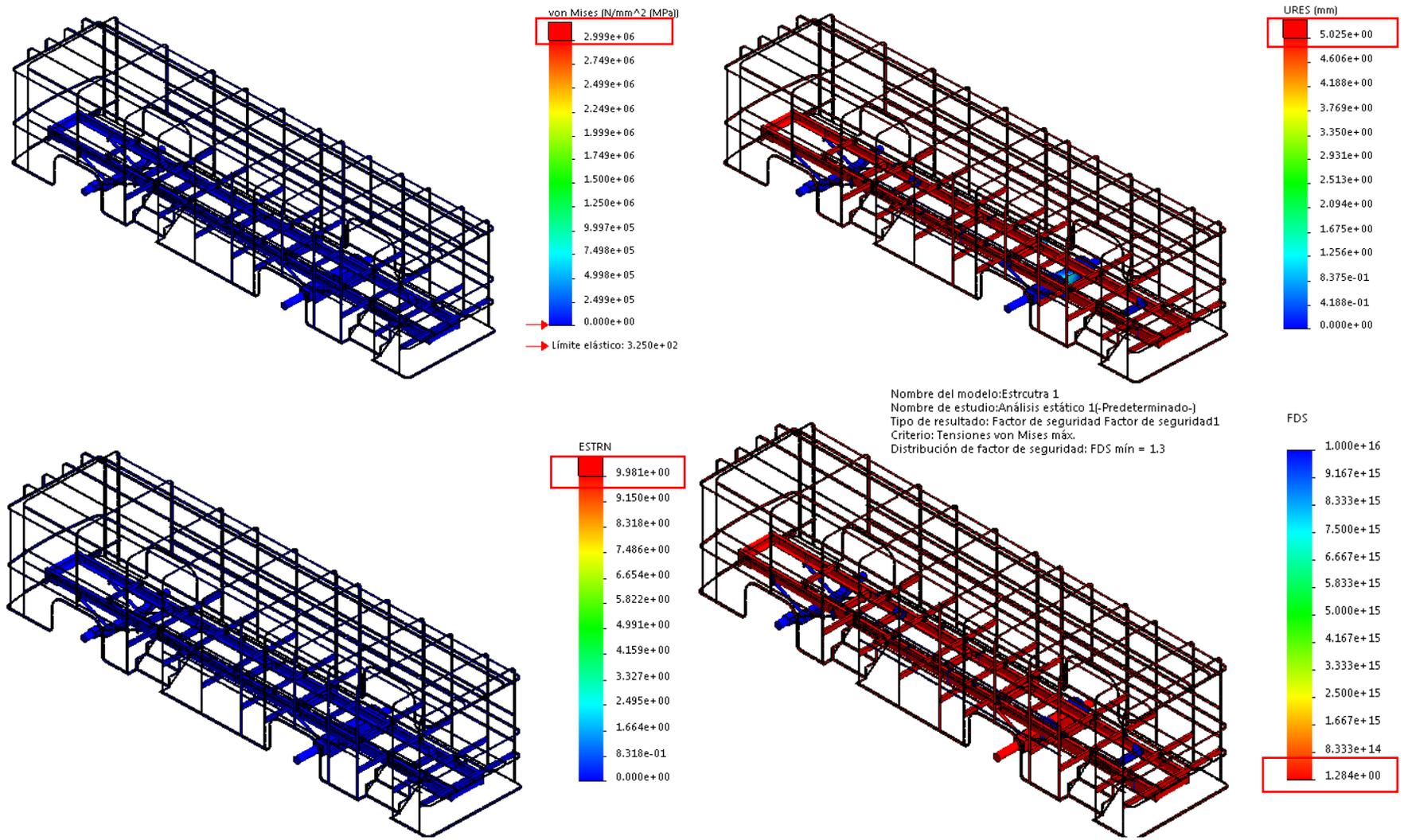


Figura 63. Resultados de Análisis con Acero ASTM A36, Tubo cuadrado 50x50x1.5

Con Acero ASTM A36, Tubo cuadrado 50x50x3, se obtienen los siguientes resultados:

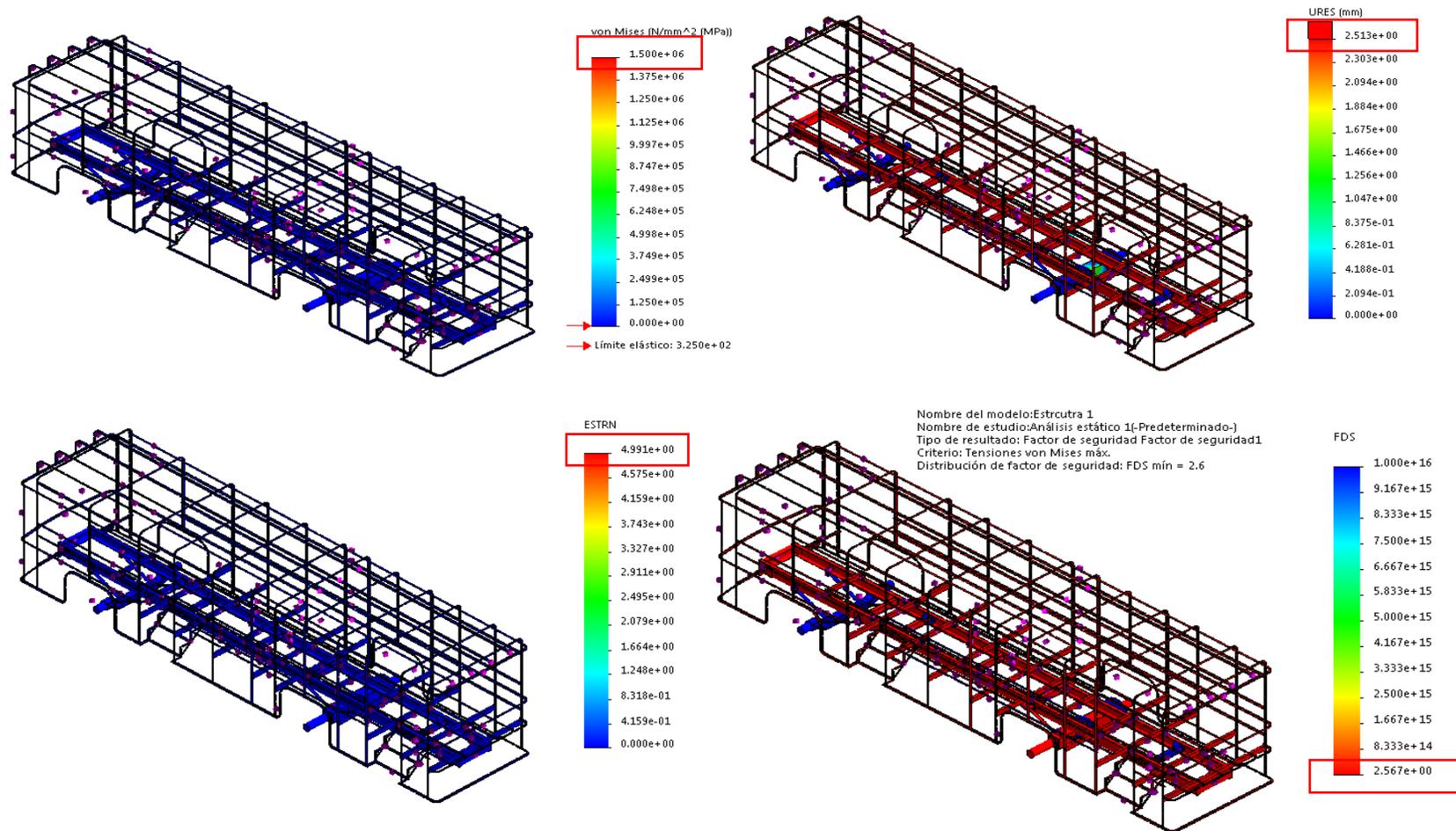


Figura 64. Resultados de Análisis con Acero ASTM A36, Tubo cuadrado 50x50x3.0

Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos

A continuación, se procede a analizar las estructuras según los tipos de aceros más comerciales que son.

### Con Acero AISI 1015

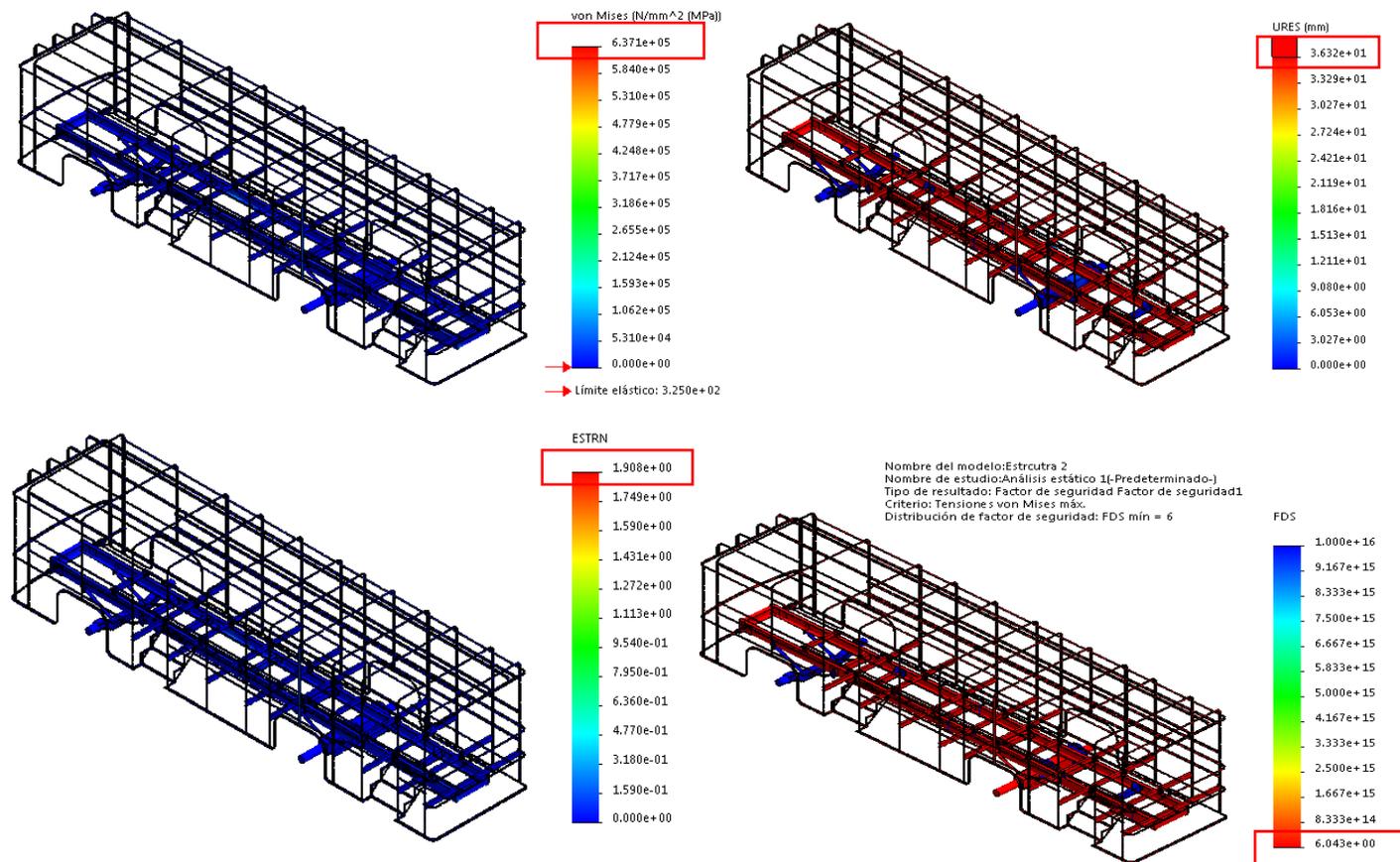


Figura 65. Resultados de Análisis con Acero AISI 1015.

Con Acero Galvanizado

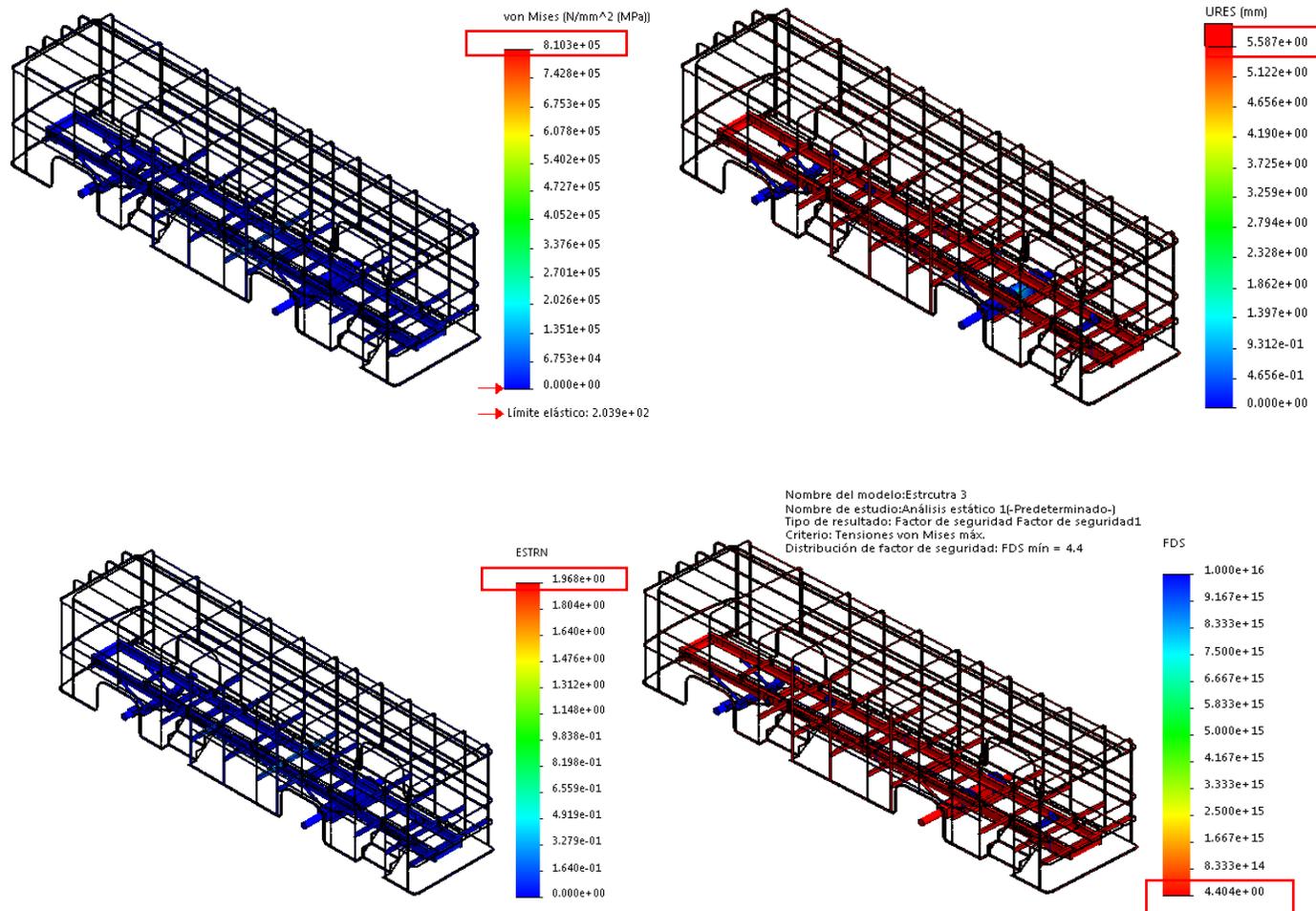


Figura 65. Resultados de Análisis con Acero Galvanizado

Con Acero Al Carbono No Aleado

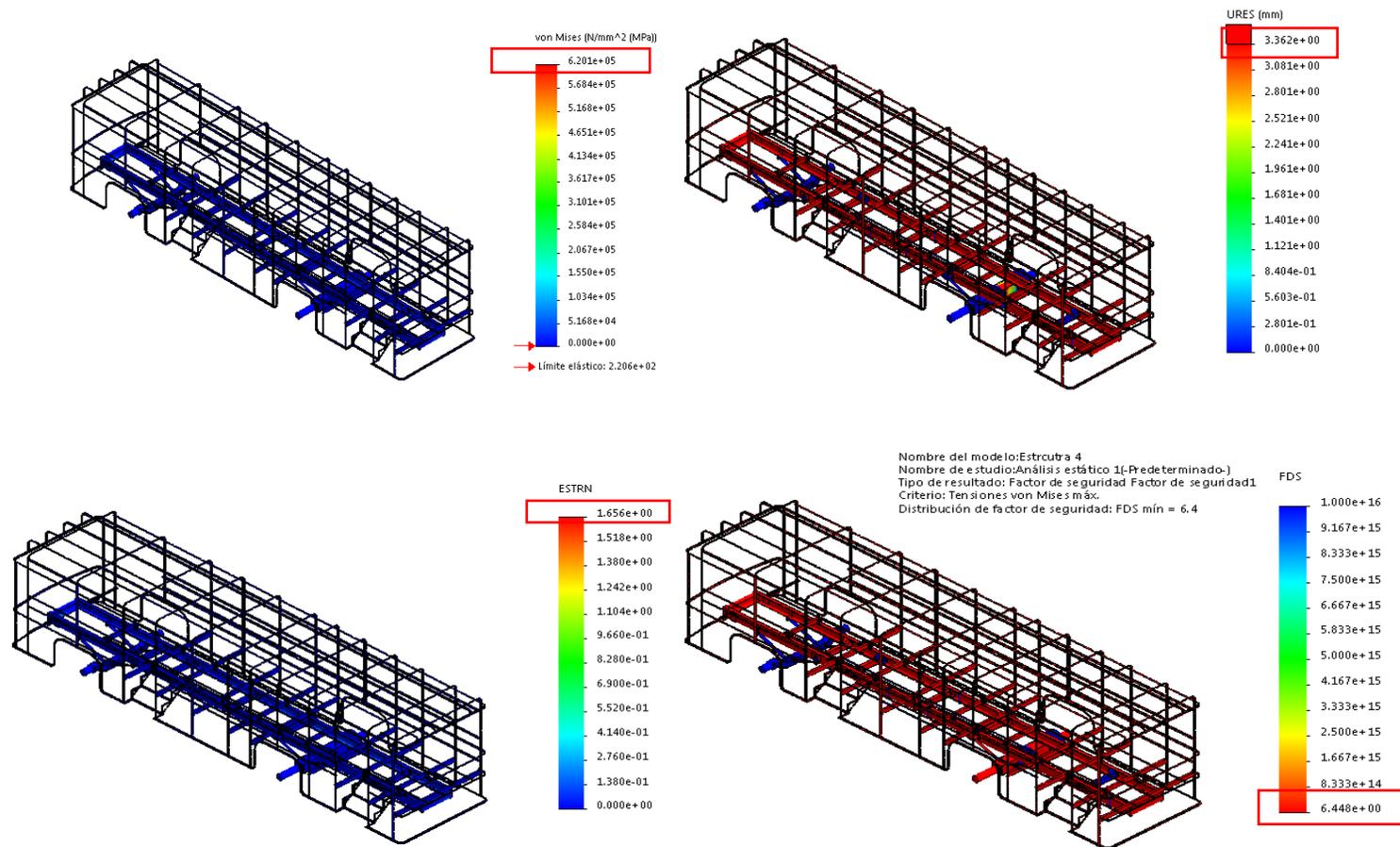


Figura 66. Resultados de Análisis con Acero Al Carbono No Aleado

Con Acero AISI 1045

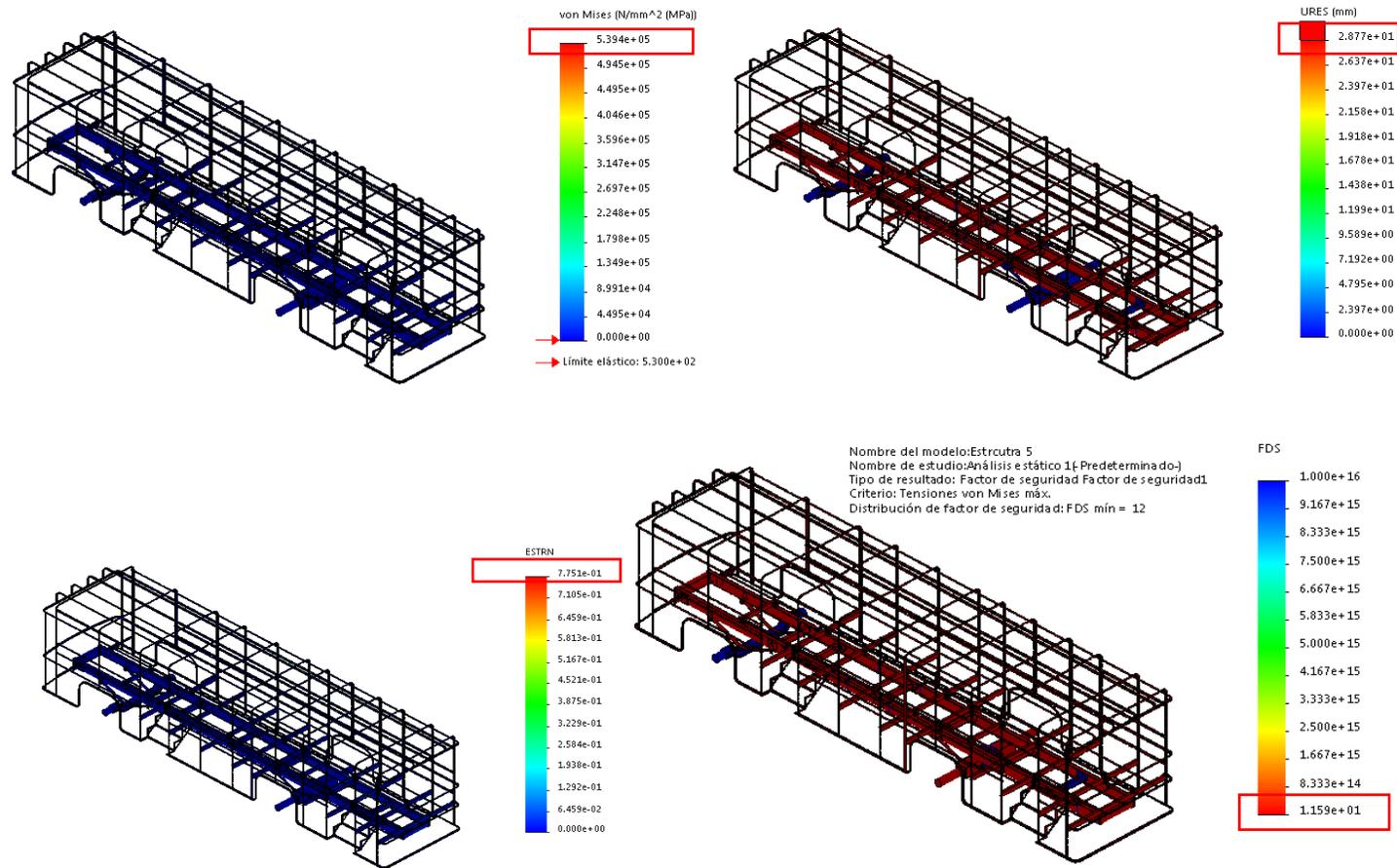


Figura 67. Resultados de Análisis con Acero AISI 1045

## Análisis y discusión de resultados

### Ensayos de Tracción.

Los ensayos de tracción se encargan de medir la resistencia de un material a una fuerza estática aplicada lentamente, (Guzhñay, 2012), por lo que la medición daría el límite máximo que soportaría el material a una carga definida, por lo que del tubo propuesto de 50x50x3 se mecanizan probetas de ancho menor = 20 mm, ancho mayor = 30 mm, longitud calibrada = 120 mm, longitud total = 510 mm y espesor de 3 mm; en base a ensayos físicos el esfuerzo promedio originado con una carga de 7834.124 (N), un límite de fuerza = 45000 N y un límite de desplazamiento = 100 mm, origina 407.127 MPa y su deformación generada es de 3mm; mientras que los ensayos por el Método de Elementos Finitos (MEF), con la misma carga definida en base a las condiciones de contorno definidas, se origina una Tensión de 408.2 MPa, así como una deformación de 2.91 mm, en tanto que con el cálculo analítico en base a la fuerza de impacto y al área originada de  $19.5 \text{ mm}^2$ , se determina que el esfuerzo originado es de 401.75 MPa, así como el desplazamiento máximo donde la longitud calibrada es de 120 mm y la elasticidad del material es de  $210000 \text{ N/mm}^2$ , donde se determina la inercia de  $270 \text{ mm}^4$ , originando un resultado de 2.84 mm, por lo que mediante la comparación de resultados no son de gran diferencia, originándose un error mínimo entre los ensayos de tipo físicos, por elementos finitos y analíticos, validándose los resultados obtenidos.

## Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos

Tabla 7.

*Comparación de resultados de Tracción ensayados físicos, analíticos y por el MEF*

	(1) Ensayos Físicos	(2) Ensayos MEF	(3) Ensayos Analíticos	Error (1) – (2)	Error (2) – (3)	Error (1) – (3)
<b>Carga (N)</b>	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo (MPa)	%	%	%
<b>7834.124</b>	407.127	408.20	401.75	0.2628	1.58	1.32
<b>Carga (N)</b>	Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (mm)	%	%	%
<b>7834.124</b>	3.00	2.91	2.84	3.0	2.40	5.33

## Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos

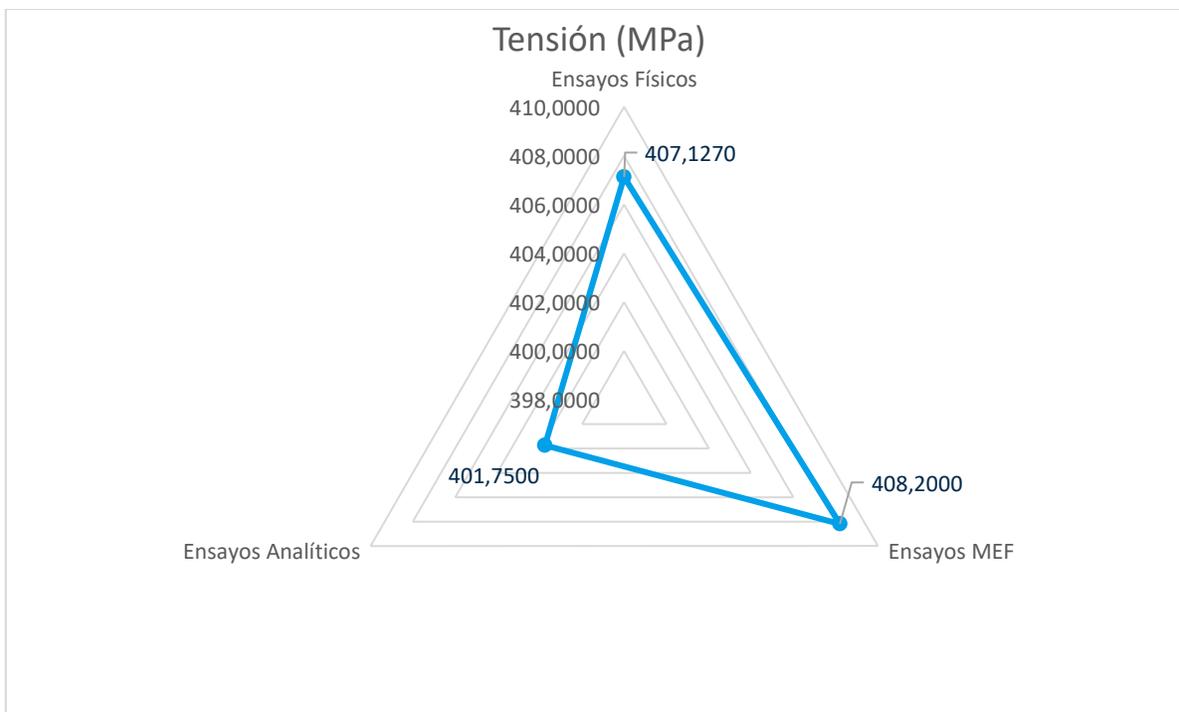


Figura 68. Resultados comparativos de los ensayos de tracción de los análisis de tensiones

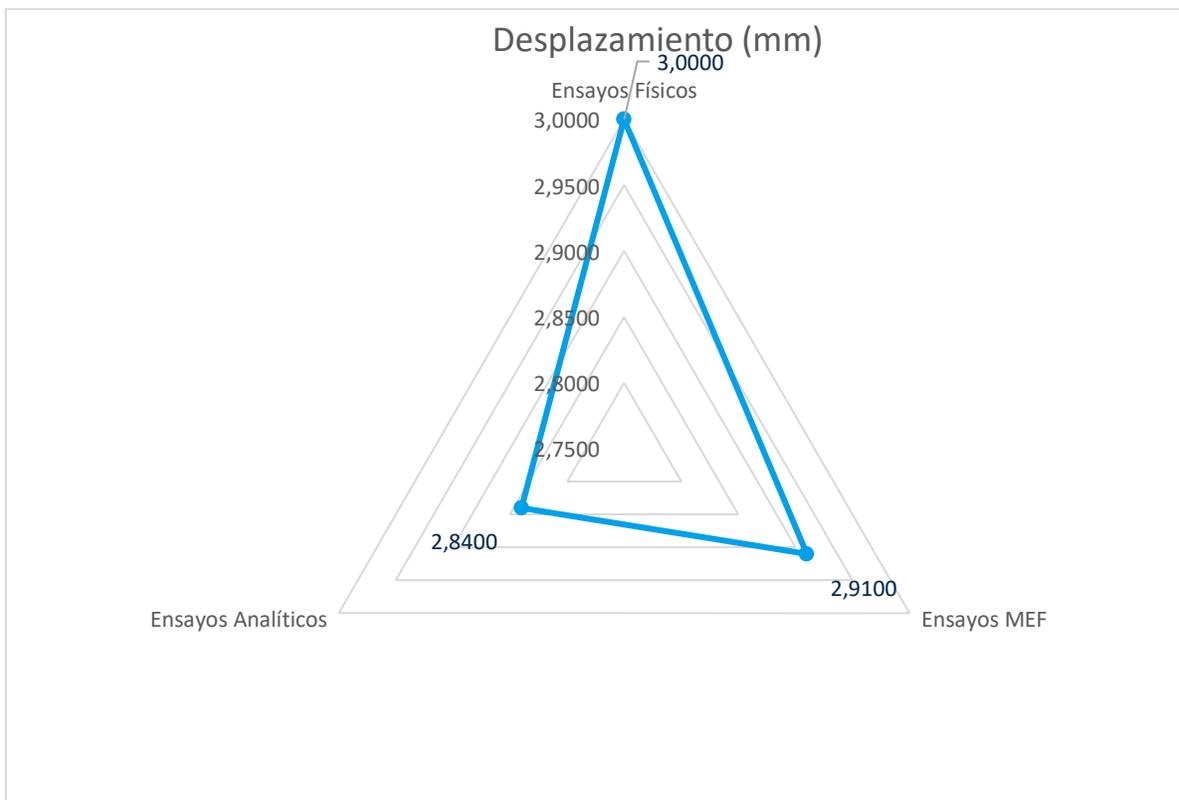


Figura 69. Resultados comparativos de los ensayos de tracción de los análisis de desplazamientos

## Ensayos de Flexión

La flexión es la capacidad que posee el material de soportar cargas de manera perpendicular, el cual es relacionado los esfuerzos con las deformaciones generadas (Guzhñay, 2012), por lo que la medición da un límite máximo que soportaría el material a una carga predefinida, por lo que del tubo propuesto de 50x50x3 se mecanizan probetas de longitud 600 mm; en base a ensayos físicos el esfuerzo promedio originado con una carga de 1225.954 (N), un límite de fuerza = 50000 N y un límite de desplazamiento = 40 mm, origina 9.28 MPa y su deformación generada es de 2.58 mm; mientras que los ensayos por el Método de Elementos Finitos (MEF), con la misma carga definida en base a las condiciones de contorno definidas, se origina una Tensión de 9.85 MPa, así como una deformación de 2.52 mm; mientras que analíticamente en base a la fuerza de impacto indicado anteriormente, el área de trabajo de  $44 \times 3 = 132 \text{ mm}^2$ , la longitud = 600 mm y la elasticidad =  $210000 \text{ N/mm}^2$ , donde su inercia definido es de  $675 \text{ mm}^4$ , originando una deflexión de 2.77 mm, por lo que mediante la comparación de resultados no son de gran diferencia, originándose un error mínimo y validándose los resultados obtenidos de manera física, analítica y por el Método de Elementos Finitos (MEF).

## Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos

Tabla 8.

*Comparación de resultados de Flexión ensayados físicos, analíticos y por el MEF*

	(1) Ensayos Físicos	(2) Ensayos MEF	(3) Ensayos Analíticos	Error (1) – (2)	Error (2) – (3)	Error (1) – (3)
<b>Carga (N)</b>	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo (MPa)	%	%	%
<b>1225.954</b>	9.287530	9.852	9.28	5.72	5.80	0.081
<b>Carga (N)</b>	Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (mm)	%	%	%
<b>1225.954</b>	2.58	2.52	2.77	2.32	9.02	6.58

Estudio comparativo de ensayos físicos vs métodos de elementos finitos

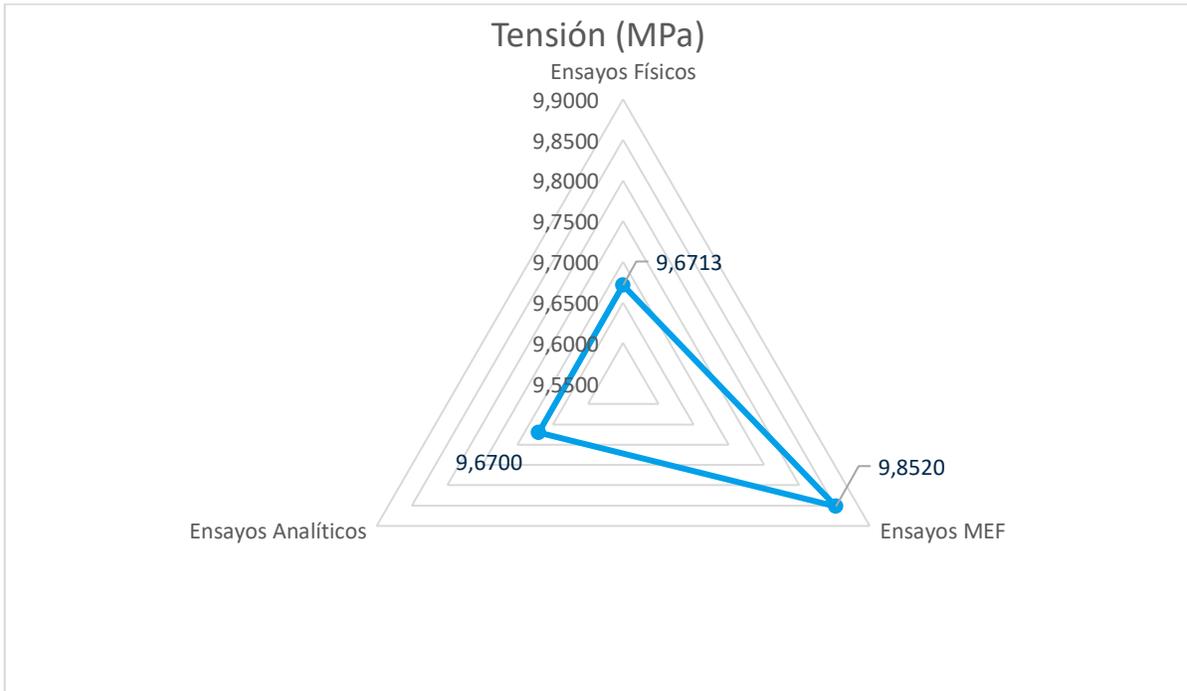


Figura 70. Resultados comparativos de los ensayos de flexión de los análisis de tensiones



Figura 71. Resultados comparativos de los ensayos de flexión de los análisis de desplazamientos

### Selección por material

En base al tipo de material se selecciona el mejor Tubo cuadrado de 50x50x1.5 o 50x50x3

Una vez validado los resultados por los tres métodos se procede a definir el material en la carrocería, donde mediante comparaciones de los más utilizados en industrias carroceras para la manufacturación de buses, son tubos de 50x50x1.5 y 50x50x3, según el análisis dinámico dado por el método LRFD – Diseño de Factor de Resistencia por Carga., mediante la combinación 4 que es la más crítica se determina que:

La tensión máxima originado con el tubo cuadrado de 50 x 50 x1.5 es de 2999000 MPa, mientras que se reduce con el tubo de 50 x50 x 3 a 1500000, en tanto que con el desplazamiento originado en el primer tipo de tubo da 5.025 mm y con el segundo origina 2.513 mm disminuyéndose su desplazamiento, según la deformación unitaria con el primer material da 9.981 y con el segundo tipo da 4.991; en base al factor de diseño se determina que como el primer material va generar mayor tensión y desplazamiento va a originar menor FDS de 1.3, siendo lo contrario con el segundo tipo de 2.6, por lo que según el tipo de material mejor es el tubo estructural 50x50x3.

Tabla 9.

*Comparación de resultados de Acero ASTM A36, con Tubo Cuadrado de 50x50x3 y el Tubo Cuadrado de 50x50x1.5*

<b>Material</b>	<b>Tubo 50x50x1.5</b>	<b>Tubo 50x50x3</b>
<b>Tensión (MPa)</b>	2999000	1500000
<b>Desplazamiento (mm)</b>	5.025	2.513
<b>Deformación Unitaria</b>	9.981	4.991
<b>FDS</b>	1.3	2.6

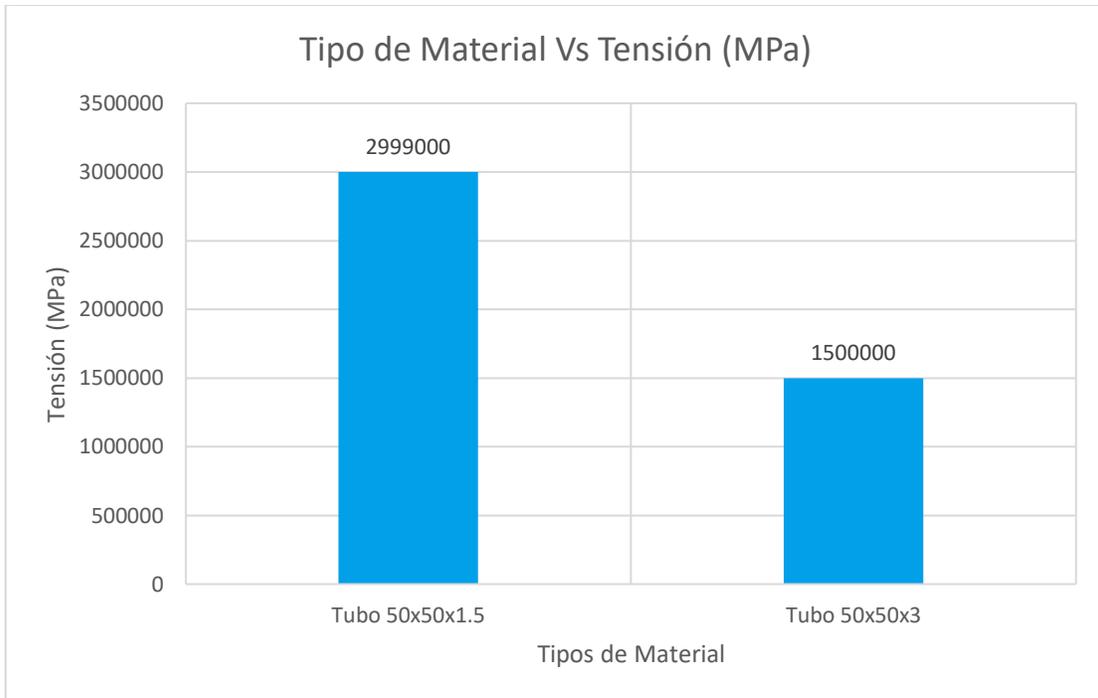


Figura 72. Resultados comparativos del análisis de tensiones de los tipos de materiales

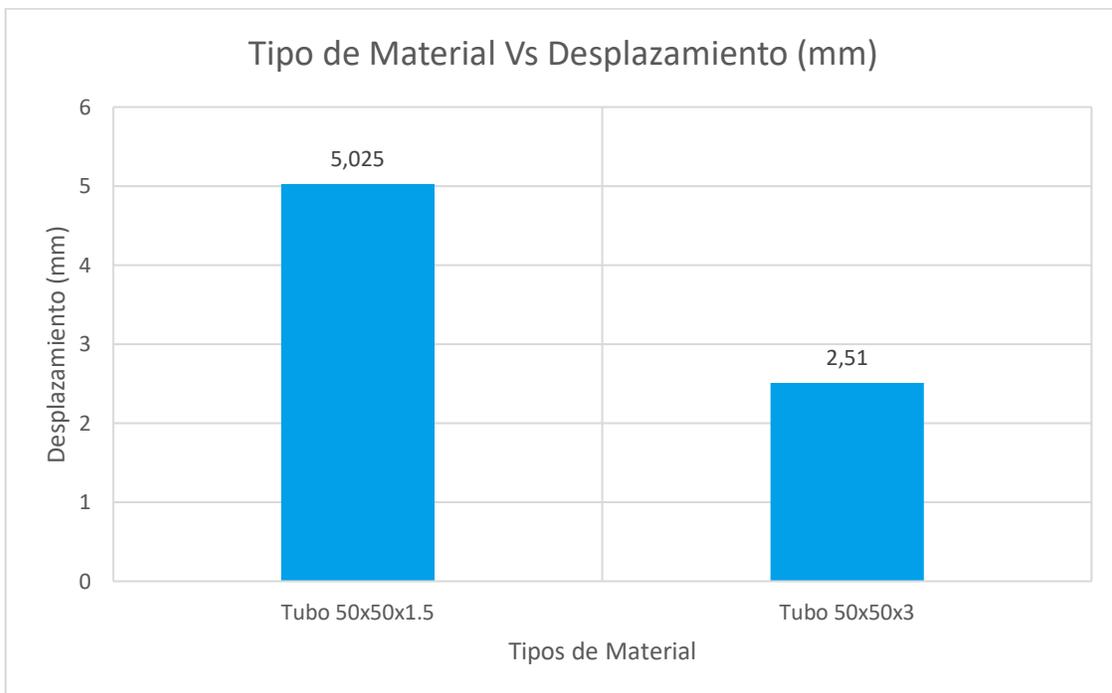


Figura 73. Resultados comparativos del análisis de desplazamientos de los tipos de materiales

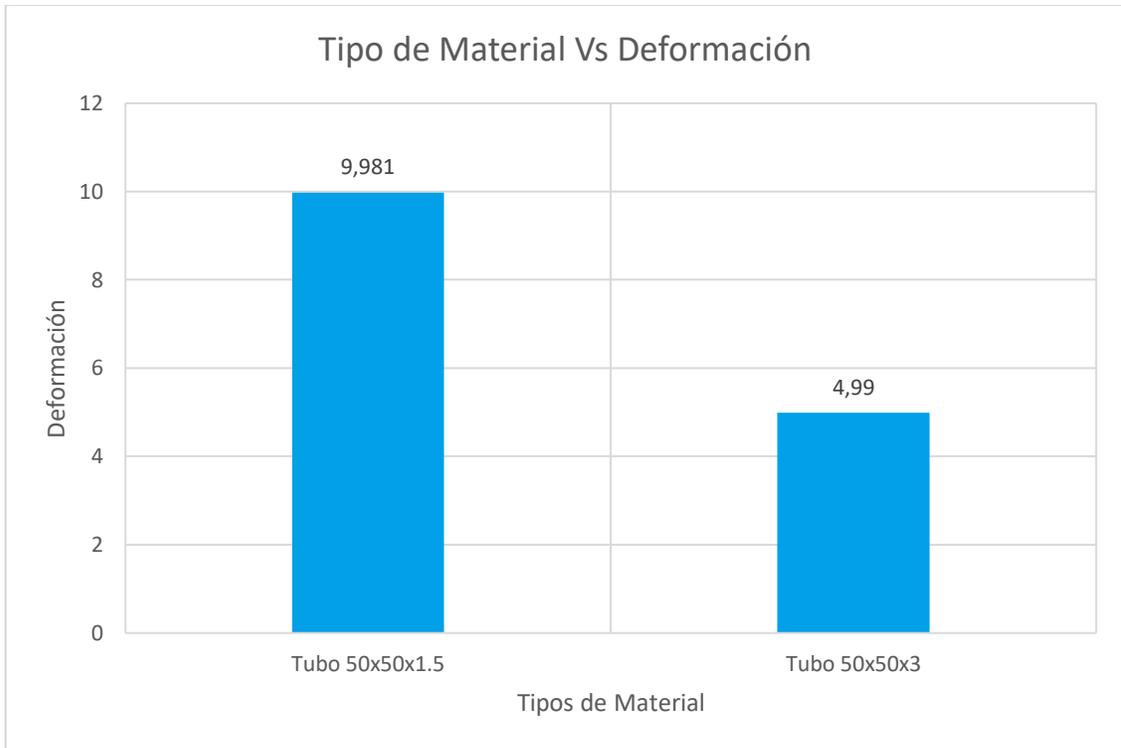


Figura 74. Resultados comparativos del análisis de deformaciones de los tipos de materiales

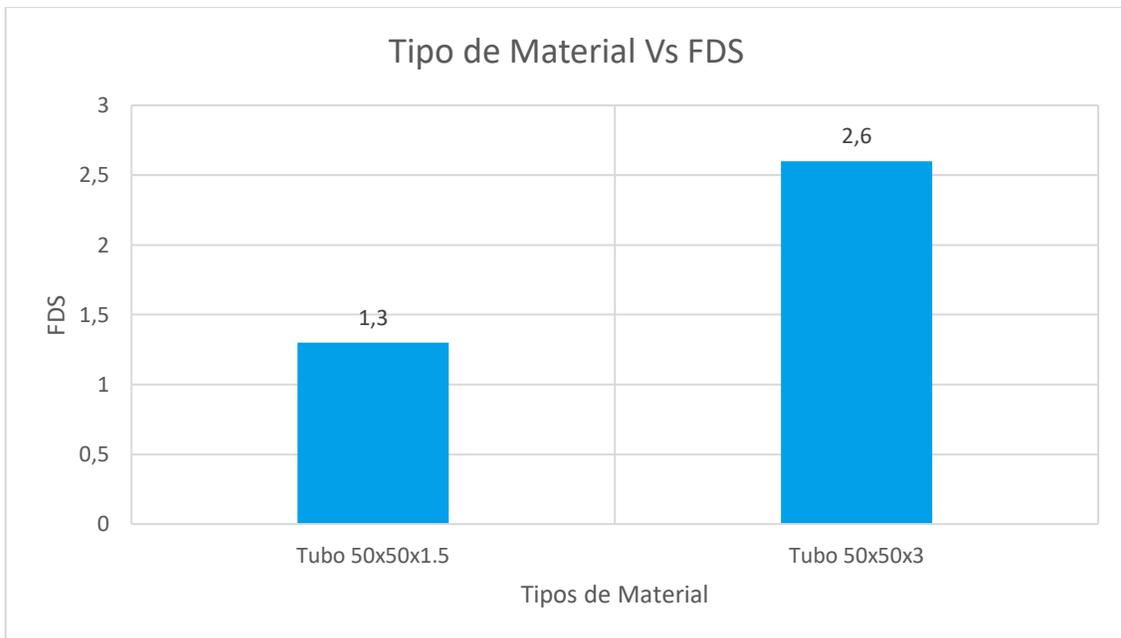


Figura 75. Resultados comparativos del análisis del FDS de los tipos de materiales

### **Selección por tipo de material**

Mediante este análisis se puede recomendar otro tipo de material que cumplan las mismas características mediante el mismo análisis de cargas dinámicas, aplicada a una estructura donde se mide la tensión, desplazamiento, deformación unitaria y sobre todo el FDS (Factor De Seguridad).

A continuación, se procede a determinar estos criterios con los siguientes aceros.

Una vez validado los resultados se procede a definir el tipo material en la carrocería, donde mediante comparaciones de los más utilizados en industrias carroceras para la manufacturación de buses, son A36, AISI 1015, Galvanizado, Acero No Aleado y AISI 1045.

La tensión máxima originado con el Acero ASTM A36, es de 15000000 MPa, con el AISI 1015 da 637100 MPa, con el galvanizado da 810300 MPa, con el Acero No Aleado genera 620100 MPa y con el AISI 1045 da 539400 MPa; mientras que el desplazamiento producido entre material es de 2.51 mm con el ASTM A36, por ser un material más blando genera una deflexión de 36.32 mm, en tanto que con el galvanizado da 5.587 mm, con Acero No Aleado da 3.362 mm y con el AISI 1045 da 28.77 mm; en tanto que con la deformación unitaria origina con el ASTM A36 da 4.99, con el AISI 1015 da 1.9, con el galvanizado 1.968, con el Acero No Aleado se origina 1.656 y con el AISI 1045 da 0.7751; finalmente el factor de seguridad (FDS) con el ASTM A36 es 2.6, el AISI 1015 da 6, el Galvanizado es de 4.4, el Acero No Aleado es 6.4 y el AISI 1045 da 12.

Los criterios de selección se dan de la siguiente manera:

- En base al Factor de Seguridad

Según Mott (2009), se recomienda para carrocerías que son estructuras de tipo estáticas con cargas de combinaciones dinámicas de 4 o más, siendo aceptable hasta del doble de la inicial el cual es de 8.

Según el FDS se determina que dan mejores resultados el material:

- AISI 1015: 6
- Galvanizado: 4.4
- Acero Al Carbono No Aleado: 6.4

Por el desplazamiento se selecciona:

- Galvanizado: 5.587 mm
- Acero Al Carbono No Aleado: 3.362 mm

Por la deformación unitaria se selecciona:

- Galvanizado: 1.968
- Acero Al Carbono No Aleado: 1.656

Por la facilidad de adquisición se selecciona el galvanizado.

Según los datos observados el material que presente mejores resultados en los ensayos es el Acero Galvanizado, el cual presenta menor Tensión, desplazamiento intermedio, deformación mínima y el factor de seguridad mayor que el acero ASTM A36, evidenciando sus resultados en gráficos y tablas comparativas, como son:

Tabla 10

Comparación de resultados de tipo de materiales

Descripción	A36	AISI 1015	Galvanizado	Acero al Carbono No Aleado	AISI 1045
Tensión (MPa)	1500000	637100	810300	620100	539400
Desplazamiento (mm)	2.51	36.32	5.587	3.362	28.77
Deformación	4.99	1.9	1.968	1.656	0.7751
FDS	2.6	6	4.4	6.4	12

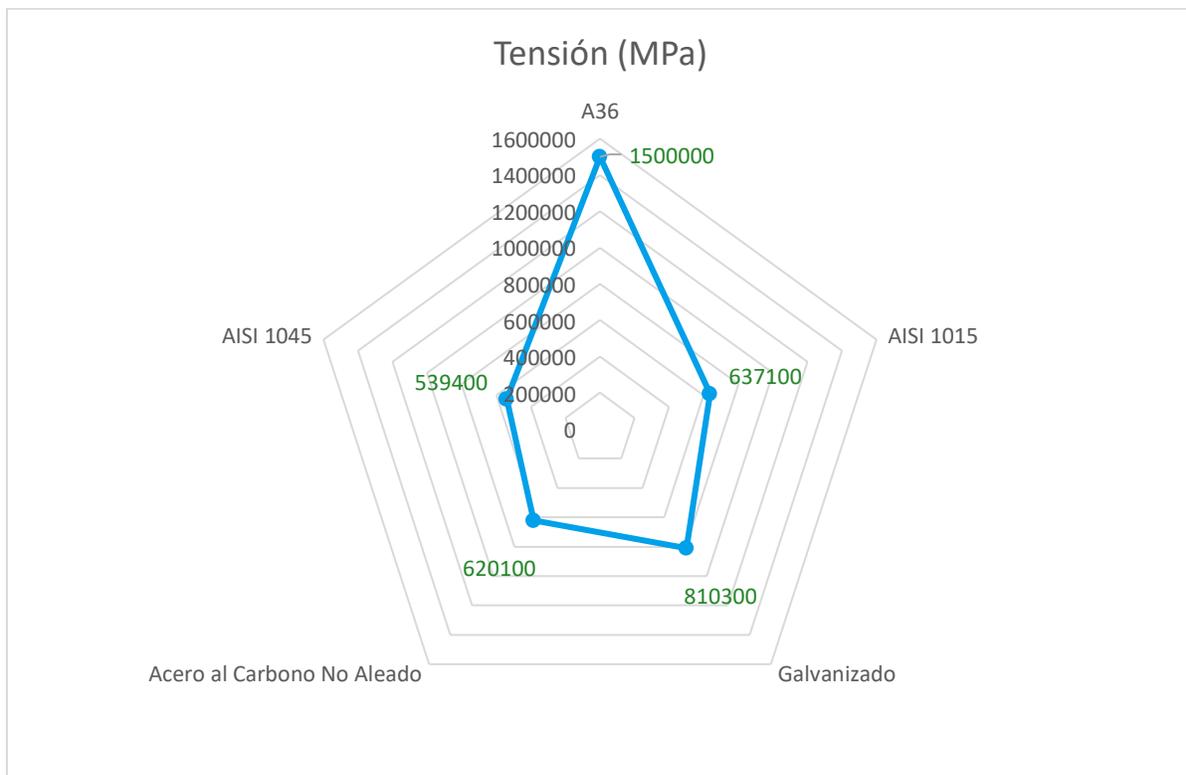


Figura 76. Resultados de Análisis de las Tensiones de los materiales.

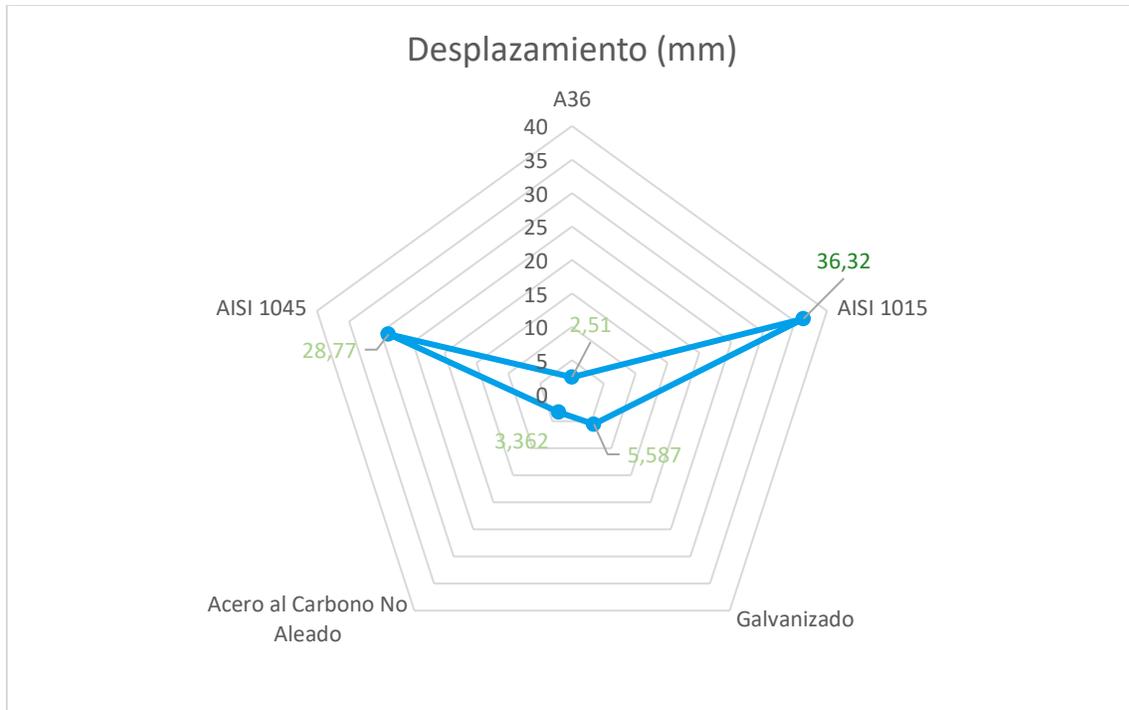


Figura 77. Resultados de Análisis de los Desplazamientos de los materiales.



Figura 78. Resultados de Análisis de las Deformaciones de los materiales.

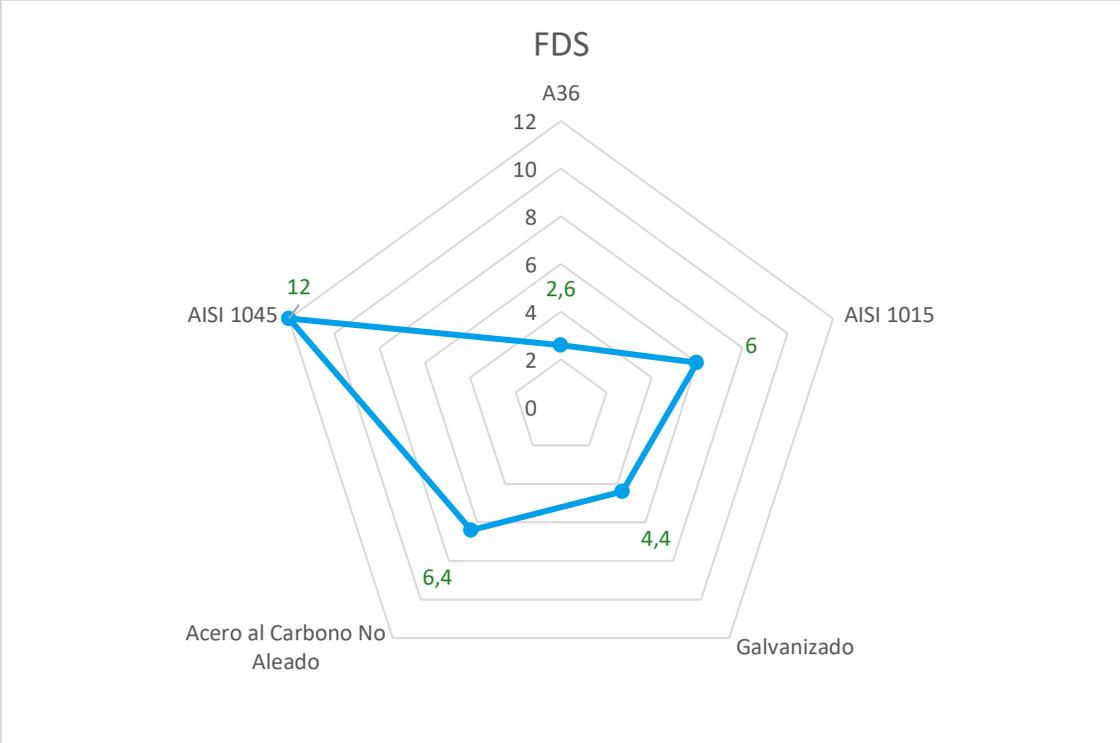


Figura 79. Resultados de Análisis de los FDS de los materiales.

### Análisis del sistema estructural del autobús FELINE

Cepeda (2006), dice que en el análisis del comportamiento mecánico del sistema estructural del autobús FELINE para la empresa carrocera MIRAL buses, sigue el siguiente proceso de análisis estructural.

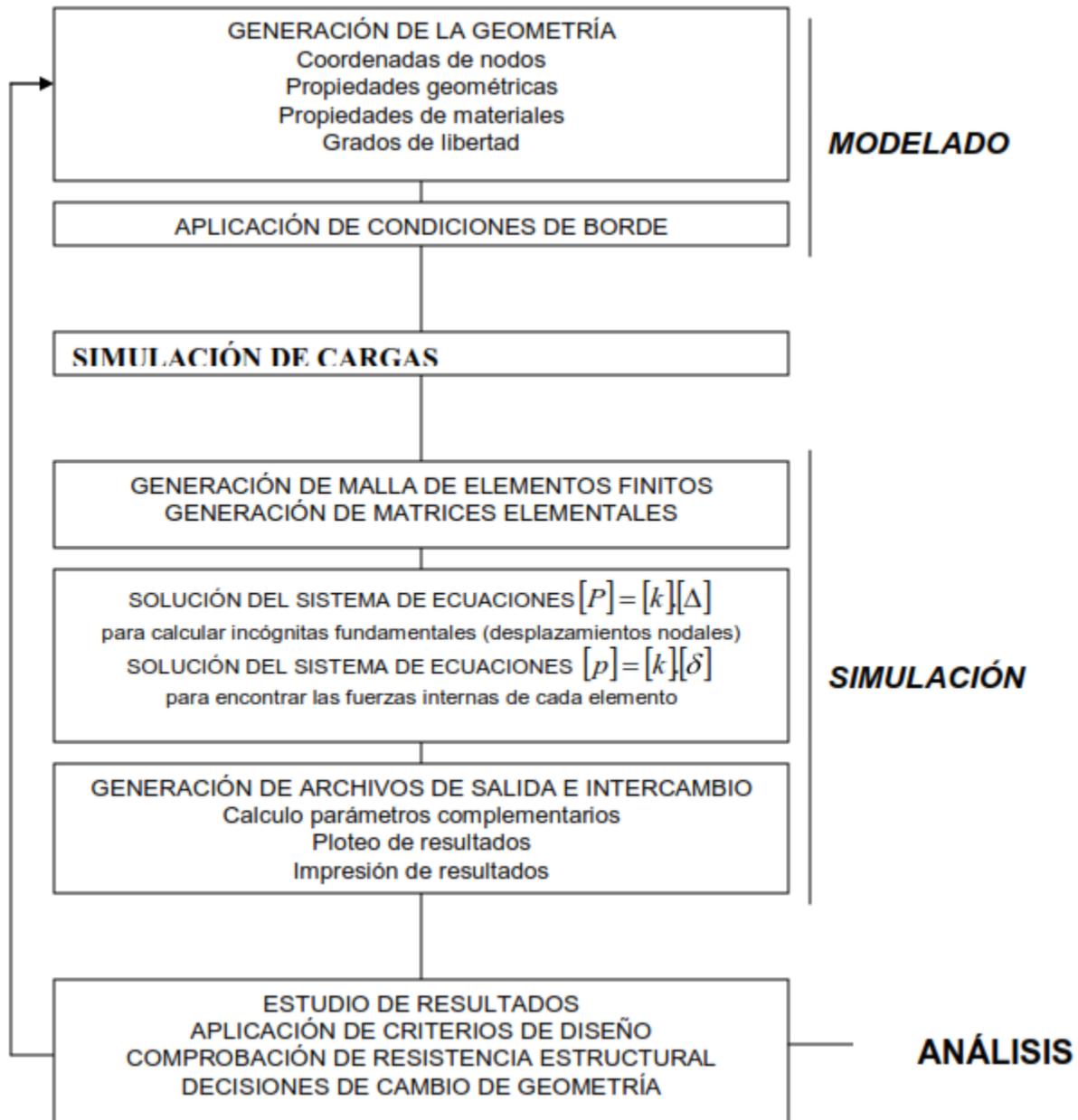
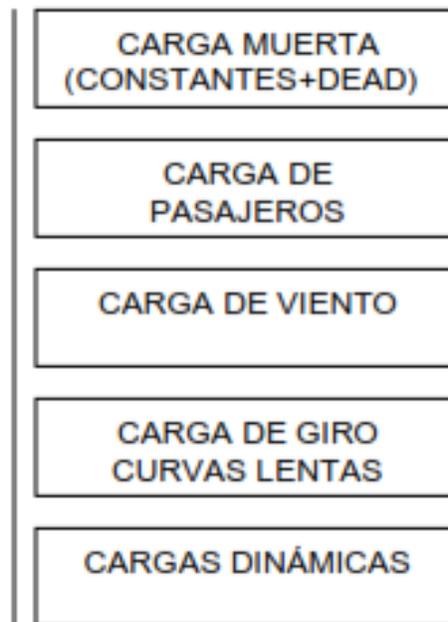


Figura 80. Proceso de análisis estructural  
Fuente: (Cepeda, 2013)

En tanto que las cargas actuantes siguen el siguiente proceso.



**Figura 81.** Cargas actuantes  
Fuente: (Cepeda, 2013)

Por lo que los elementos que presentan mayor esfuerzo en la carrocería son:

Tabla 11.

Resultado de esfuerzos

<b>Sección</b>	<b>Nodo</b>	<b>Material</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>FDS</b>
<b>Respaldo</b>	1727	T25x25x2	-295.45	0.91
	1728	T25x25x2	-298.30	0.87
	853	T25x25x2	-327.72	0.86
<b>Techo</b>	228	T50x50x2	-325.99	0.81
	449	T50x50x2	-33.64	4.22
<b>Frontal</b>	389	T50x50x2	25.33	4.25
<b>Piso</b>	14	T100x50x2	-279.88	0.95

Fuente: (Cepeda, 2013)

Según el análisis ejecutada en la sección del techo da un FDS varia de 0.81 a 4.22, en tanto que en nuestra investigación da 4.4, por lo que al comparar se puede notar que el FDS es el más apropiado, dando como aceptado el material señalado.

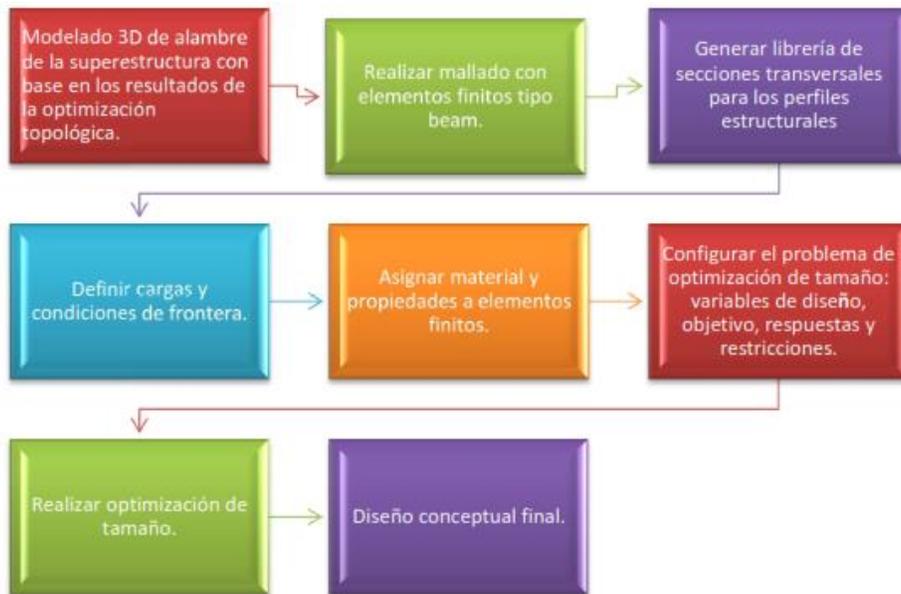
**Análisis del sistema estructural de superestructuras de autobuses**

El análisis del sistema estructura de superestructuras de autobuses según Pozo (2014) se da de la siguiente manera:



**Figura 82.** Análisis estructural  
Fuente: (Pozo, 2014)

En tanto que la optimización estructural del tamaño de la superestructura se da de la siguiente manera:



**Figura 83.** Optimización estructural  
Fuente: (Pozo, 2014)

Por lo que según la investigación originada da como resultados:

Tabla 12.

Resultados obtenidos de Pozo

<b>Esfuerzo máximo a soportar</b>	<b>305100 MPa</b>
<b>Desplazamiento máximo en los anclajes</b>	21.376 mm
<b>Desplazamiento máximo en las cerchas</b>	19.5 mm

Tomado de: (Pozo, 2014)

Tabla 13.

Resultados obtenidos de Cepeda

<b>Esfuerzo máximo</b>	<b>502150 MPa</b>
<b>Desplazamiento máximo en las cerchas</b>	10.8 mm

Tomado de: (Cepeda, 2013)

Por lo que en base a la comparación se tiene que:

Tabla 14.

Resultados comparativos de varios ensayos

<b>Investigaciones</b>	<b>Cepeda (2013)</b>	<b>Pozo (2014)</b>	<b>Tipan (2019)</b>
<b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>	502150	305100	810300
<b>Desplazamiento máximo en las cerchas (mm)</b>	10.8	19.5	5.587

Por lo que se da por válido el diseño actualmente requerido, dando mejores resultados

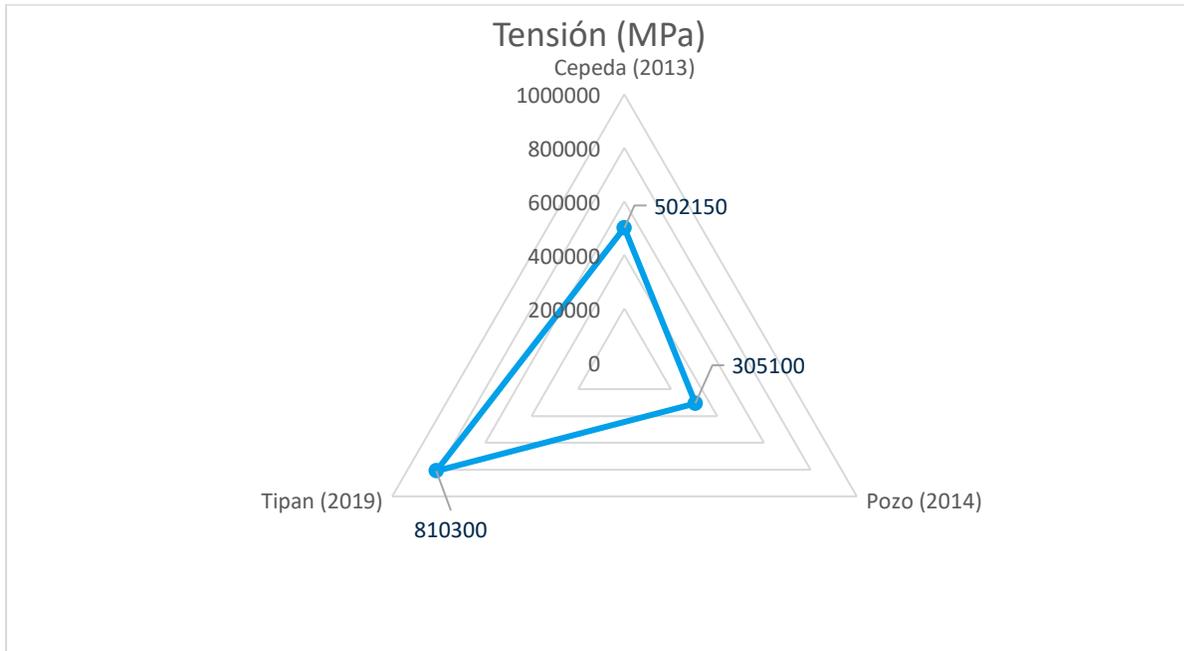


Figura 84. Resultados de varios ensayos de Tensión (MPa)

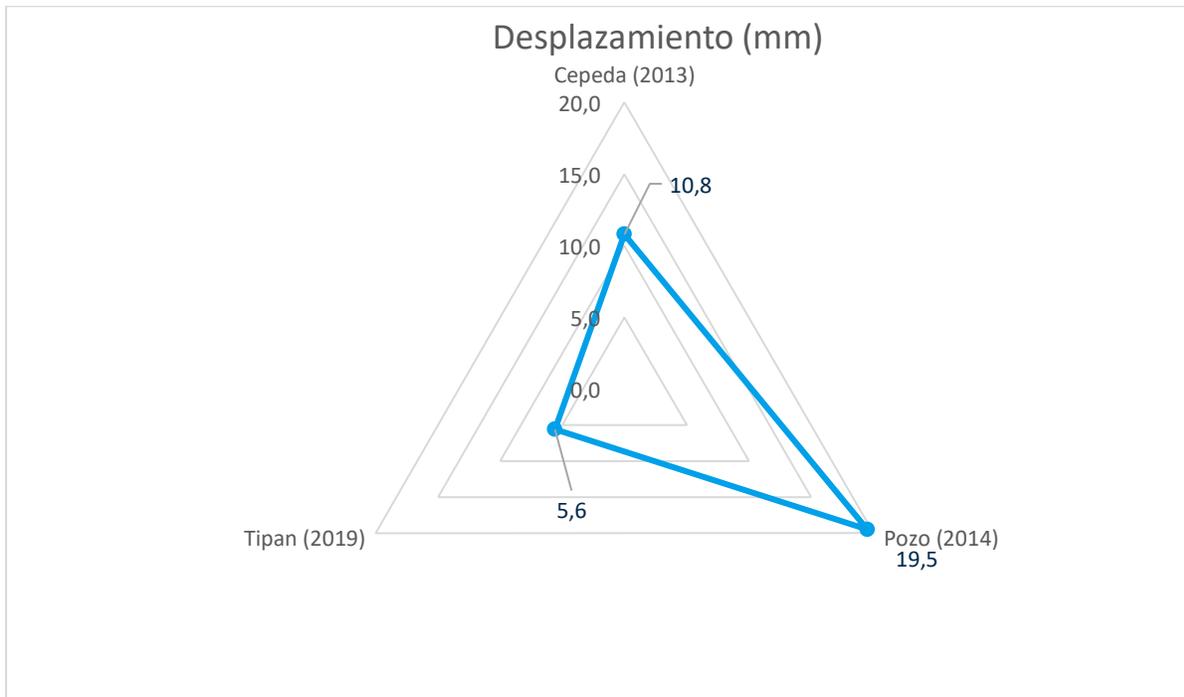


Figura 85. Resultados de varios ensayos de Desplazamiento (mm)

### Conclusiones

- Se caracterizó el material existente en ensayos de tracción con una carga de 7834.124 N, físicamente los resultados de esfuerzos de 407.127 MPa, así como de desplazamiento de 3 mm, diferenciándose del tipo virtual dado por el MEF, errores del 0.2628% y del 3.0%; en tanto que los ensayos de flexión con 1225.954 N en los ensayos físicos origina un esfuerzo de 9.2975 MPa y de desplazamiento 2.58 mm, diferenciándose del tipo virtual del 5.72% y el 2.32%.
- Se avalaron los resultados de los ensayos de tracción, mediante análisis de tipo analítico donde se diferenciaron en un error en el Esfuerzo el 1.58%, desplazamiento el 2.40%; en tanto que, en los ensayos de flexión, se origina diferencias del esfuerzo del 5.80% y del desplazamiento del 9.02%.
- Mediante los resultados obtenidos se puede observar que los materiales cumplen con los esfuerzos solicitados avalándolos sus resultados de manera física, virtual y analítica.
- Se verificó el uso de los materiales comúnmente usados, mediante las cargas definidas en combinaciones estipuladas y planteadas como  $1.2M + 1.6F + 0.8 \text{ Raf}$ , obteniendo como mejores resultados con Tubo 50x50x3, originando Tensión de 1500000 MPa, desplazamiento de 2.513 mm, deformación unitaria de 4.991 y el FDS de 2.6.
- En base a materiales comúnmente utilizados como son AISI 1015, Acero Galvanizado, Acero Al Carbono No Aleado y Acero AISI 1045, se determina que el de tipo galvanizado es la mejor opción por poseer un FDS recomendado al de Robert Mott, no genera demasiados desplazamientos, así como deformaciones unitarias, validándose sus

respuestas con las de Pozo (2014), donde sus esfuerzos son 305.1 MPa y el desplazamiento de 19.5 mm, dando como resultados de 810300 MPa, 5.587 mm, con un FDS de 4.4.

### Referencias Bibliográficas

- ✓ Aira (2014) “Análisis experimental y por el método de los elementos finitos del estado de tensiones en uniones carpinteras de empalme de llaves” Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- ✓ Analuiza, O., (2016). “Análisis de las combinaciones porcentuales del material de una junta a tope en un acero ASTM A588 Grado A utilizando los alambres tubulares E71T1 y E81T1N12 para determinar las propiedades mecánicas en la fabricación de superestructura para puentes”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Andrade, L., y Méndez, P., (2013). “Estudio del diseño de una carrocería con análisis de esfuerzos estáticos y dinámicos de un autobús de la marca Patricio Cepeda calificada con Norma ISO 9001-2008 mediante la aplicación de un software para el cálculo de las fuerzas”. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- ✓ Arroba, C., (2013). “Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobús interprovincial marca MIRAL Infiniti en chasis Hino Ak sometida a volcadura, mediante los programas Ansys Ls-Dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Asai, M. y Olvera J., (2014). “Análisis mecánico de un prototipo de autobús tipo entrada baja para transporte público”. México D.F., México: Instituto Politécnico Nacional..
- ✓ Auz, J., (2017), “Estudio del Tratamiento Térmico Post Soldadura del Acero Inoxidable Martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y su incidencia en las Propiedades Mecánicas del Material aplicado a la Recuperación de Rodetes Hidráulicos”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Avilés, R. (2017). “Estudio del impacto lateral del autobús urbano con carrocería IMPA para determinar la configuración de la estructura que cumpla con la normativa de la UNECE Regulación R095R02”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Bonilla, Bezerra, Larrúa, Recarey & Mirambell (2015) “Modelación numérica con

validación experimental aplicada al estudio de comportamiento de conectores tipo perno de estructuras de hormigón y acero”, Revista de Construcción RIC.

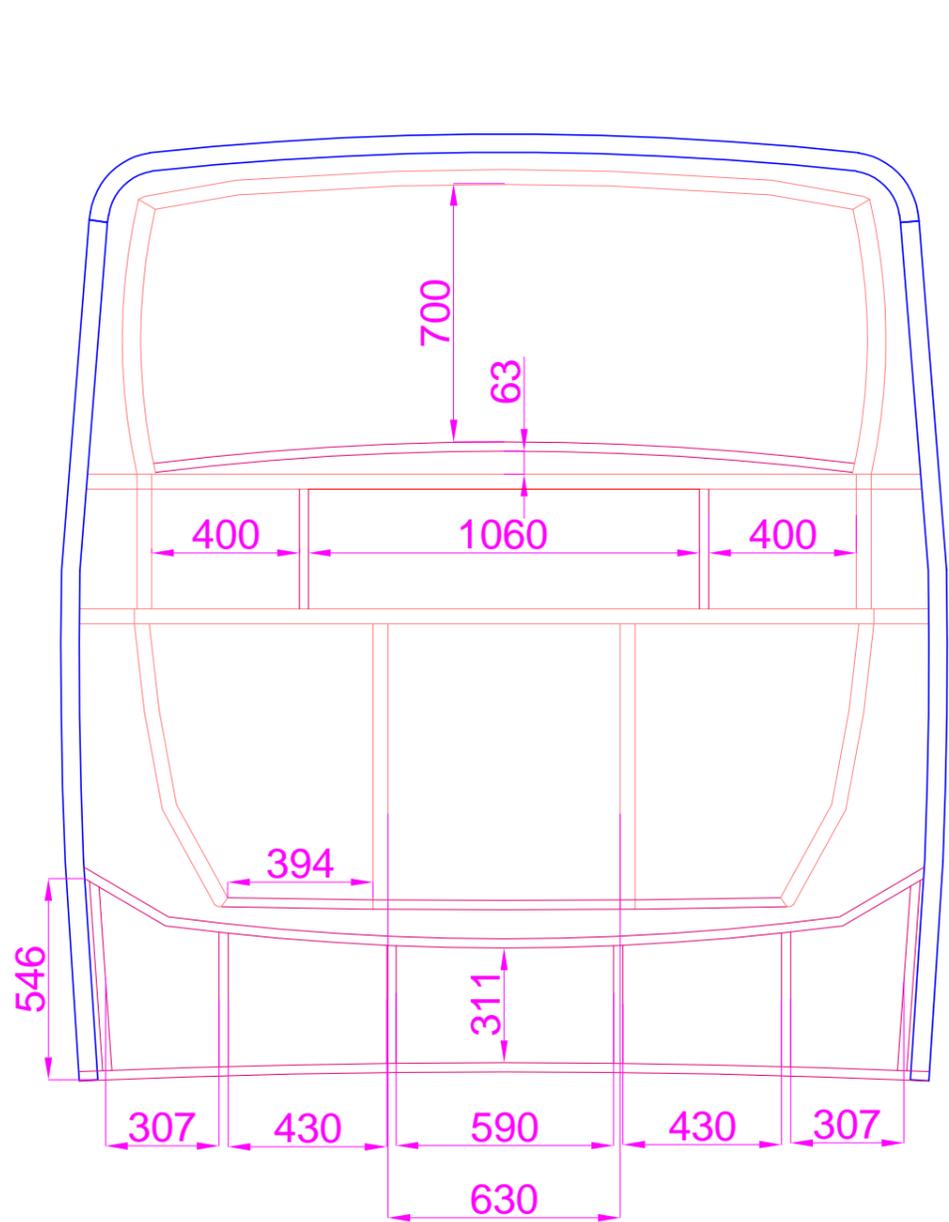
- ✓ CANFAC (2014). “INFORME DIAGNÓSTICO DEL SECTOR CARROCERO”. Ambato, Ecuador: Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías.
- ✓ Cano, A., (2014) “ESTUDIO Y SIMULACIÓN NUMÉRICA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN EN ACEROS”. Lorraine: Université de Lorraine
- ✓ Criollo, M., (2017), “Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma Cu-Zn para determinar su aplicación industrial”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Chávez, A., y Martínez, S., (2013). “Estudio del acero utilizado en una barra estabilizadora automotriz”. México D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.
- ✓ 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”. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- ✓ Espín, S., (2013), “Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma CuZnAl para determinar su aplicación industrial”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ González, D. (2010). *Propuesta de transporte público individual de pasajeros con dispositivos mínimos de seguridad pasiva para el Distrito Federal*. Universitaria: Autor - Editor.
- ✓ Guerra, F., (2015), “Jig’s de soldadura para el ensamblaje de la estructura lateral de las carrocerías tipo urbano e interprovincial y su incidencia en el tiempo del proceso de ensamblaje en la empresa MIRAL AUTOBUSES en el cantón Ambato”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Guzmán, C., (2013). ”Análisis de aceros por microscopía óptica”. México D.F., México: instituto Politécnico Nacional.

- ✓ Hernández, J. (2016). “Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de volteo para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros”. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- ✓ Hidalgo, J. y Espinoza G.; (2016). “Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplace tipo Formula SAE”. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- ✓ López (2014) “Estudio comparativo de los métodos de elementos finitos y fotoelásticos en la determinación de esfuerzos para mejorar el diseño mecánico de piezas” Ambato, Ecuador: Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Centro de Estudios de Posgrado, Maestría en Diseño Mecánico.
- ✓ López, L., (2015). “Análisis de la estructura del chasis HINO AK8JRSA y su incidencia en el comportamiento mecánico general del bus interprovincial en la Industria Metálica CEPEDA (IMCE)”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- ✓ Manjarrés, F. y Santillán, E., (2016). “Análisis Estructural a Cargas de Impacto Frontal de un Bus Tipo Interprovincial mediante el Método de Elementos Finitos”. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- ✓ Navarro (2016), “Propiedades Mecánicas”. todomecánica. 2 -4
- ✓ Osuna, A., (2014). “Método experimental para la determinación de la difusión de carbono en aceros de baja aleación en rangos industriales de composición”. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- ✓ Pastor, A., (2015). ”Estudio de la transformación, optimización de la microestructura y prevención de la rotura frágil en piezas coladas de acero X38CrMoV5-1 de alta resistencia”. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- ✓ Pozo, J., (2014), “Propuesta de Procedimientos de Análisis y de Diseño de Superestructuras de Autobuses”. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

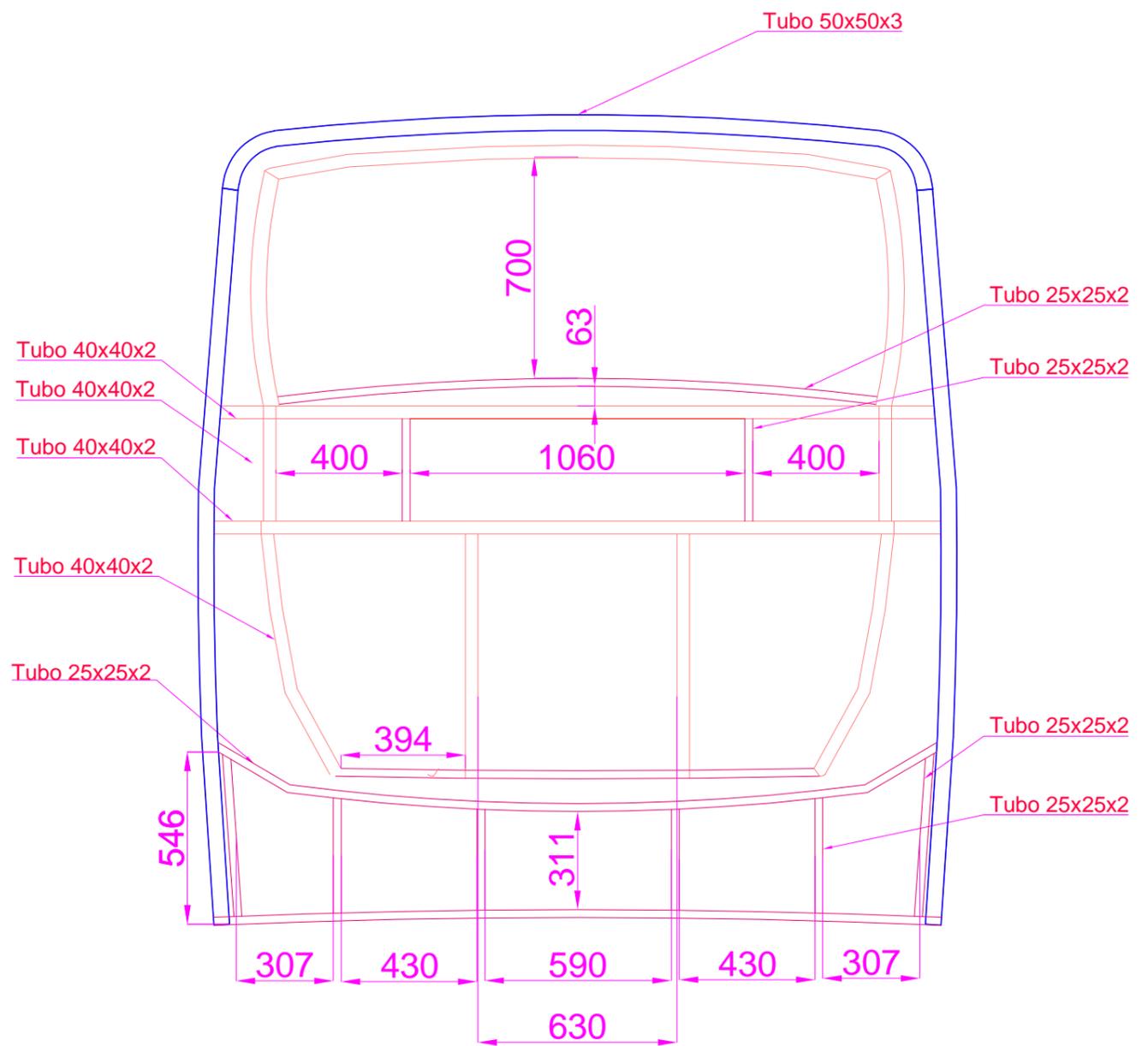
- ✓ Vaca, W., (2013). “Análisis de Recocido en Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

**Anexos**

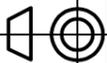


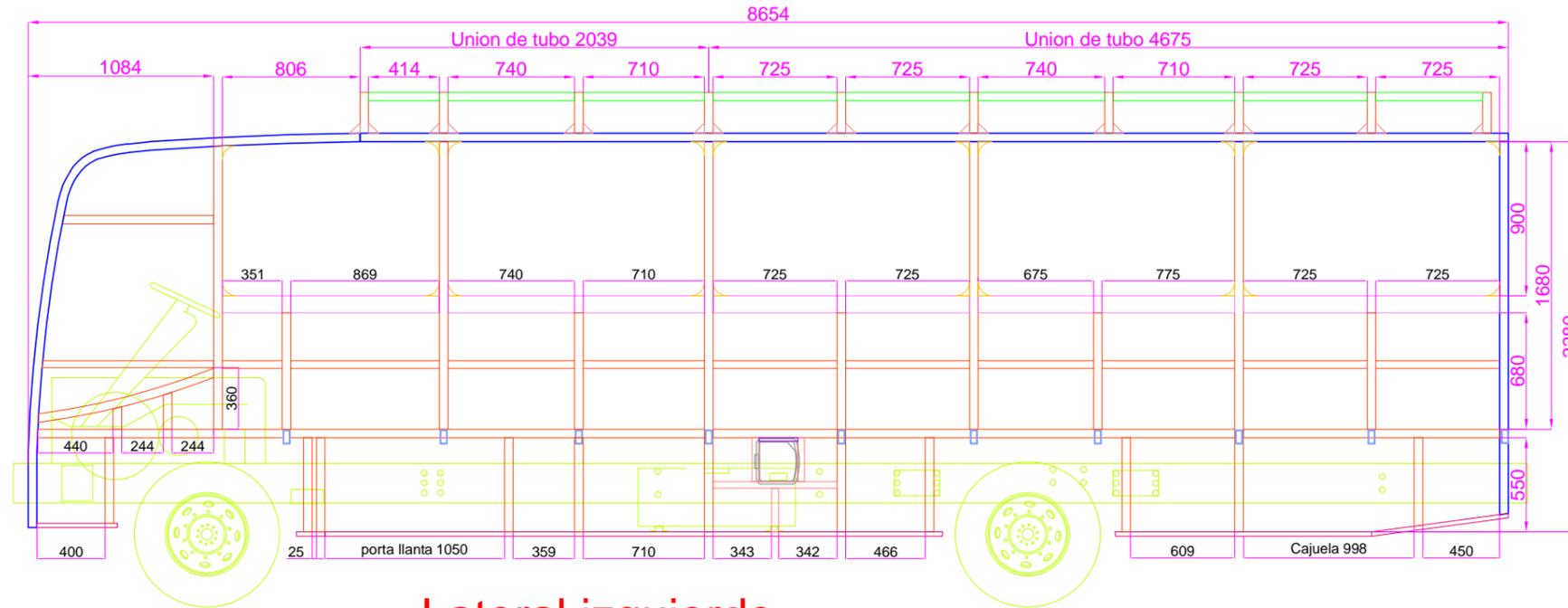


**Respaldo (Dimensiones)**

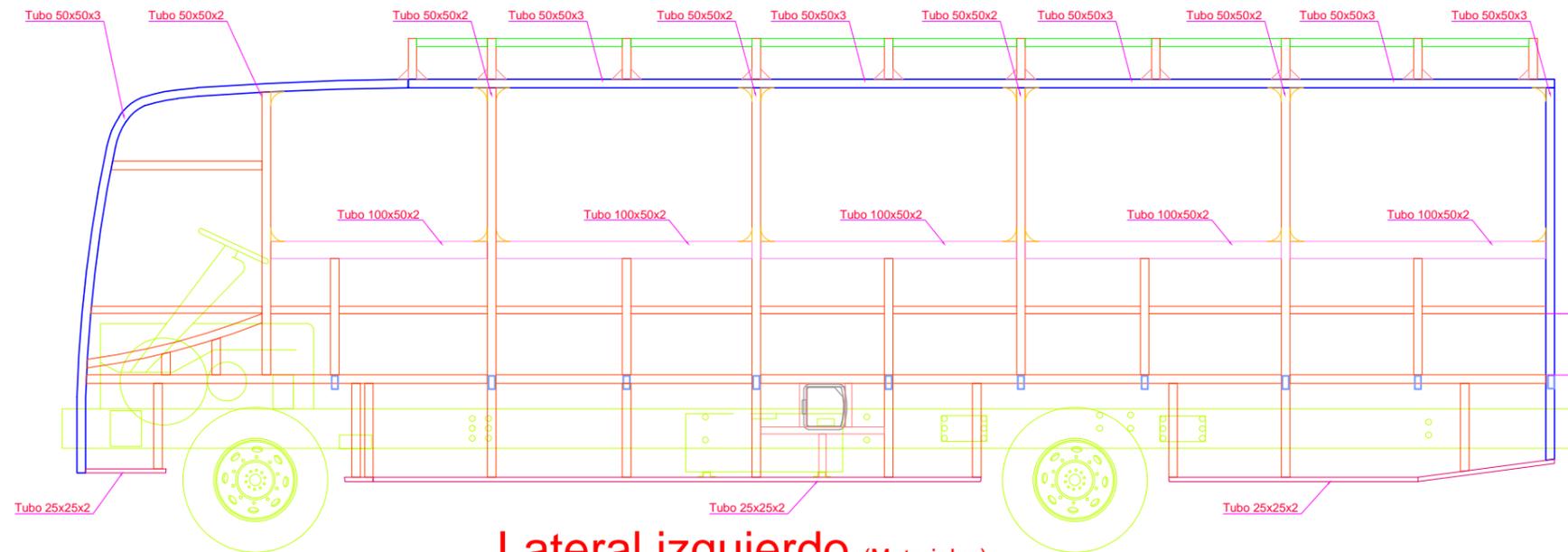


**Respaldo (materiales)**

				Tolerancia ±1	Peso	Material: Acero Galvanizado	
						Denominación: <b>RESPALDO</b>	Escala: 1:50
				Dibujó: 24/02/2020	Nombre Ing. Tlpán		
				Revisó: 24/02/2020			
				Aprobó: 24/02/2020			
				Universidad Internacional SEK		Número del dibujo: 5 de 5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



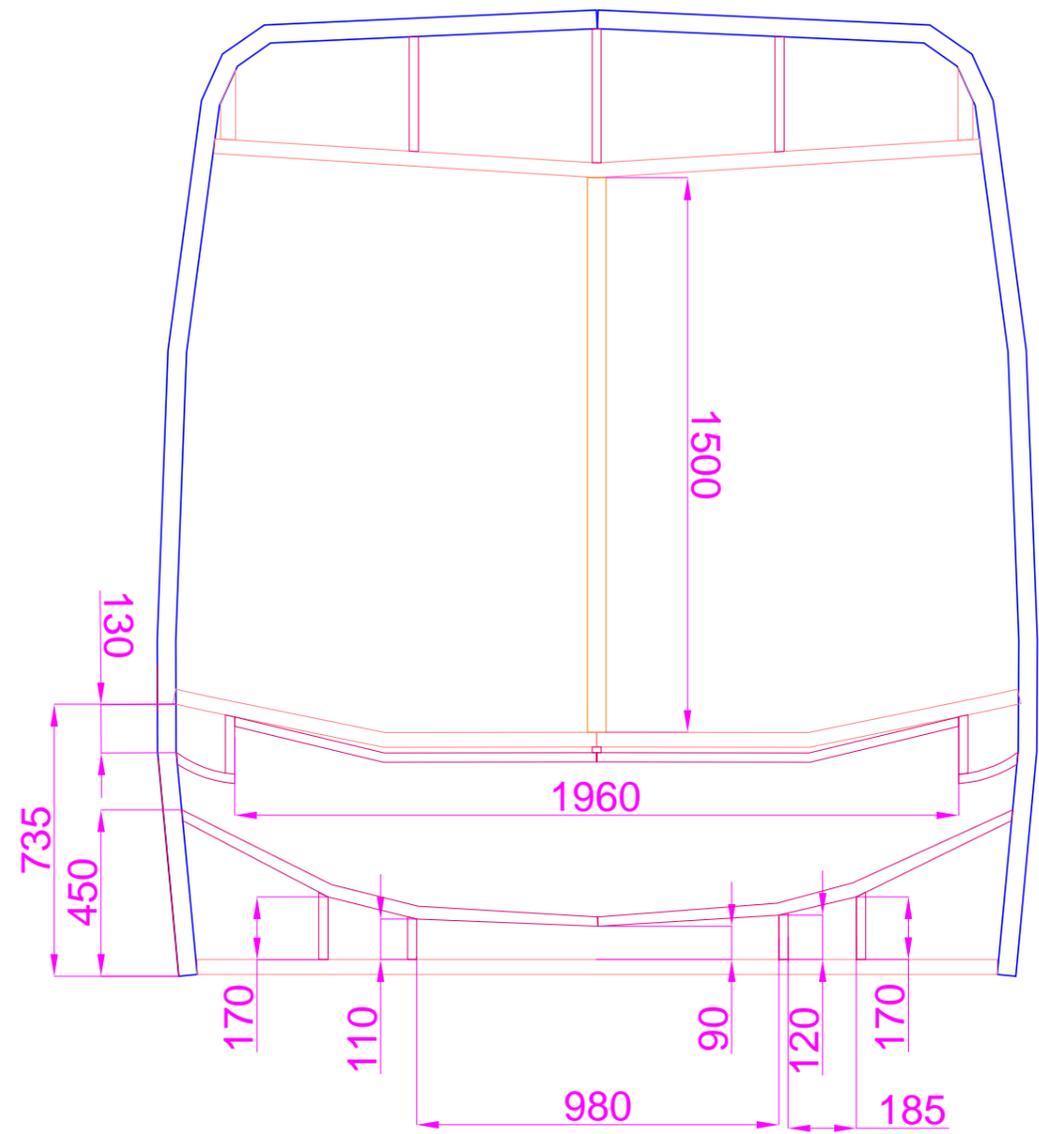
Lateral izquierdo (Dimensiones)



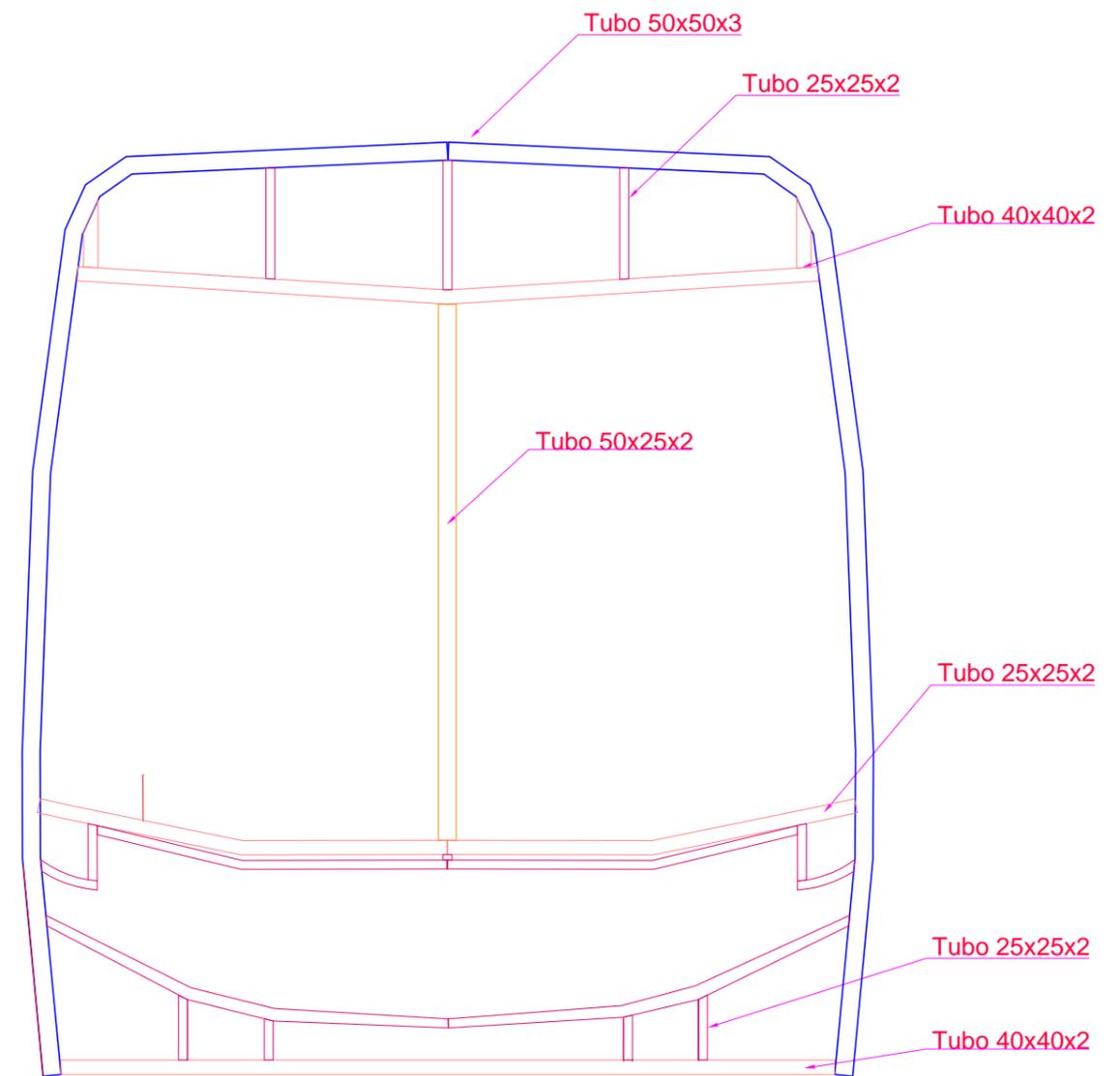
Lateral izquierdo (Materiales)

				Tolerancia ±1	Peso	Material: Acero GALVANIZADO	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Estructura Lateral Izquierda</b>	
				Dibujó: 24/02/2020	Ing. Tipán	Escala: 1:50	
				Revisó: 24/02/2020			
				Aprobó: 24/02/2020			
				Universidad Internacional SEK		Número del dibujo: 2 de 5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



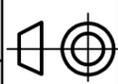


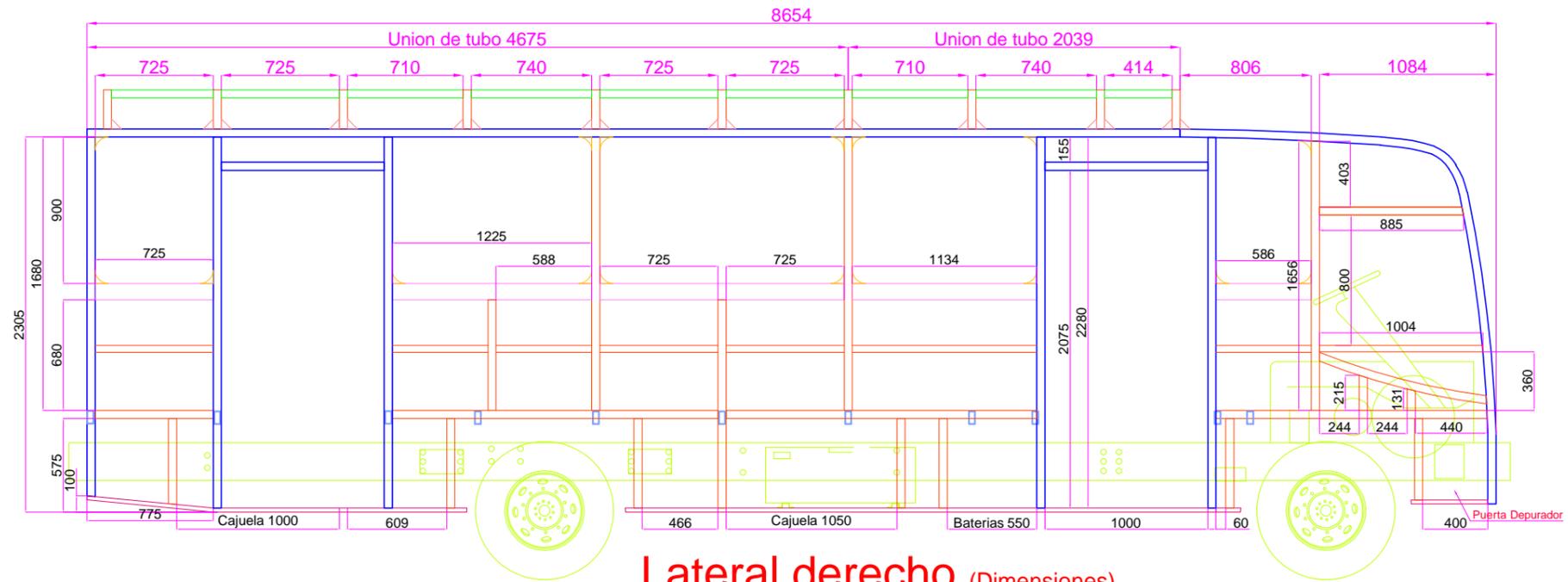
**FRENTE (Dimensiones)**



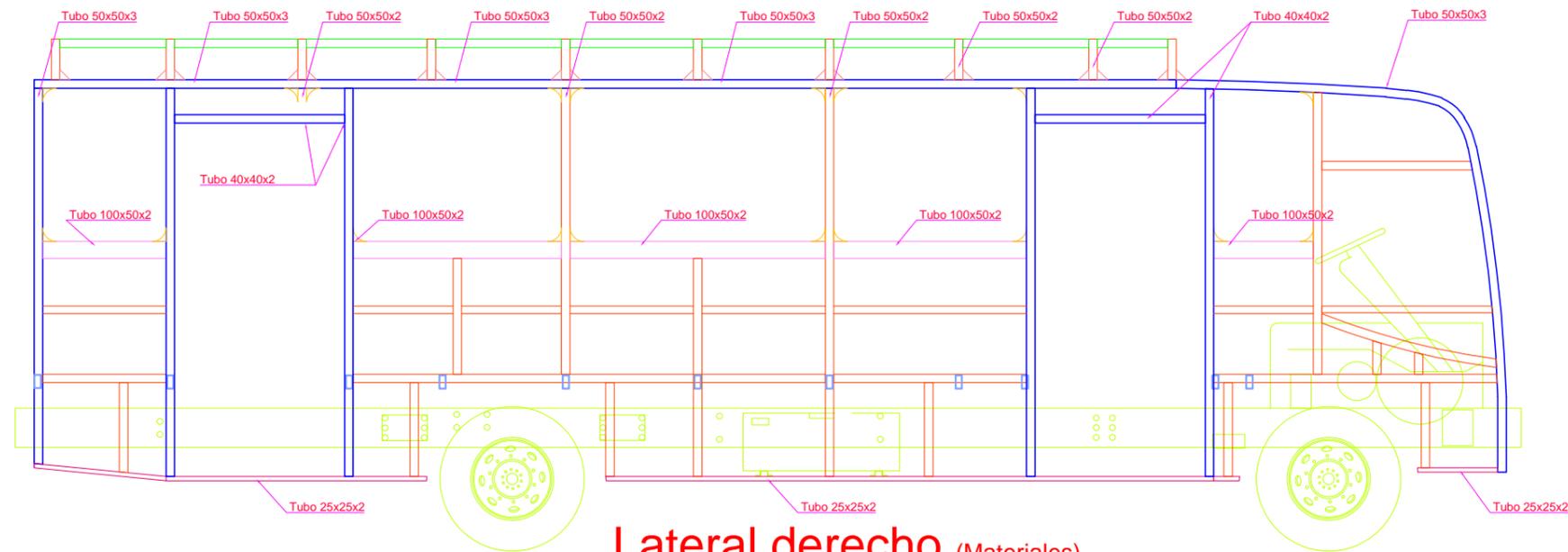
**FRENTE (Materiales)**

				Tolerancia ±1	Peso	Material: Acero Galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>FRENTE</b>	
				Dibujó: 24/02/2020	Ing. Tipán	Escala: 1:50	
				Revisó: 24/02/2020			
				Aprobó: 24/02/2020			
				Universidad Internacional SEK		Número del dibujo: 4 de 5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	





Lateral derecho (Dimensiones)



Lateral derecho (Materiales)

				Tolerancia ±1	Peso	Material: Acero GALVANIZADO	
				Fecha 24/02/2020	Nombre Ing. Tipán	Denominación: <b>Estructura Lateral Derecha</b>	
				Revisó: 24/02/2020			Escala: 1:50
				Aprobó: 24/02/2020			
				Universidad Internacional SEK		Número del dibujo: 3 de 5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



# epoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECANICA  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**

FECHA: 31/01/2019

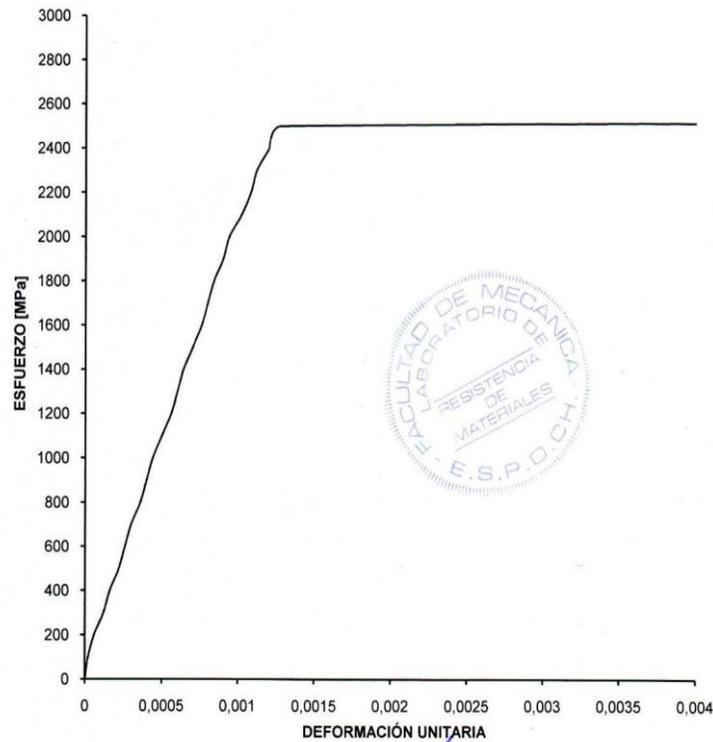
CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ

DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO

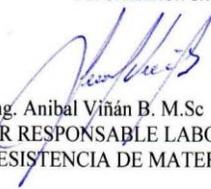
MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3

TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500

CARACTERISTICA	PROBETA
BASE [mm]	50
ALTURA [mm]	50
ESPESOR [mm]	3
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	564,0



Aprobado por:

  
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc  
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
DE RESISTENCIA DE MATERIALES



# espoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECANICA  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
ENSAYO DE TRACCIÓN

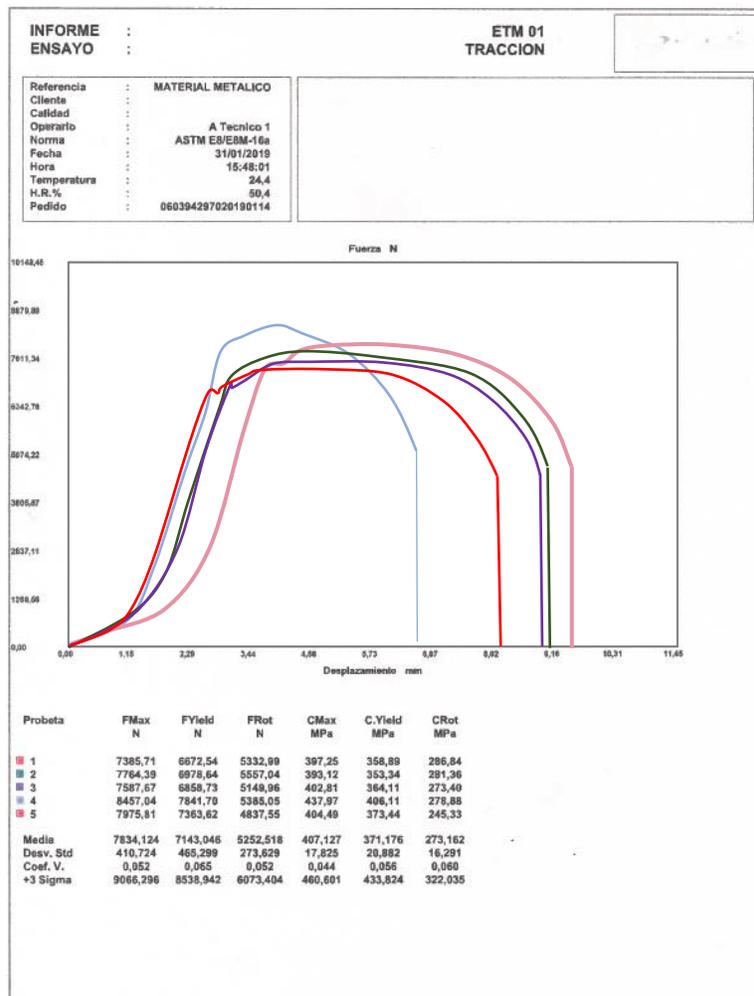
FECHA: 31/01/2019

CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ

DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO

MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3

TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500



Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc  
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
DE RESISTENCIA DE MATERIALES



# epoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECANICA

## LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

### ENSAYO DE TRACCIÓN

FECHA: 31/01/2019

CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ

DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO

MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3

TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500

#### Parametros

Precarga	=	100,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	45000,00	N
Limite Desplazamiento	=	100,00	mm
Stop Ext	=	80,00	mm

#### Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	25,00	mm/min
Posicionamiento	=	500,00	mm/min

Aprobado por:

  
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc  
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
DE RESISTENCIA DE MATERIALES



# epoch

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECANICA  
**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO METALOGRAFICO**

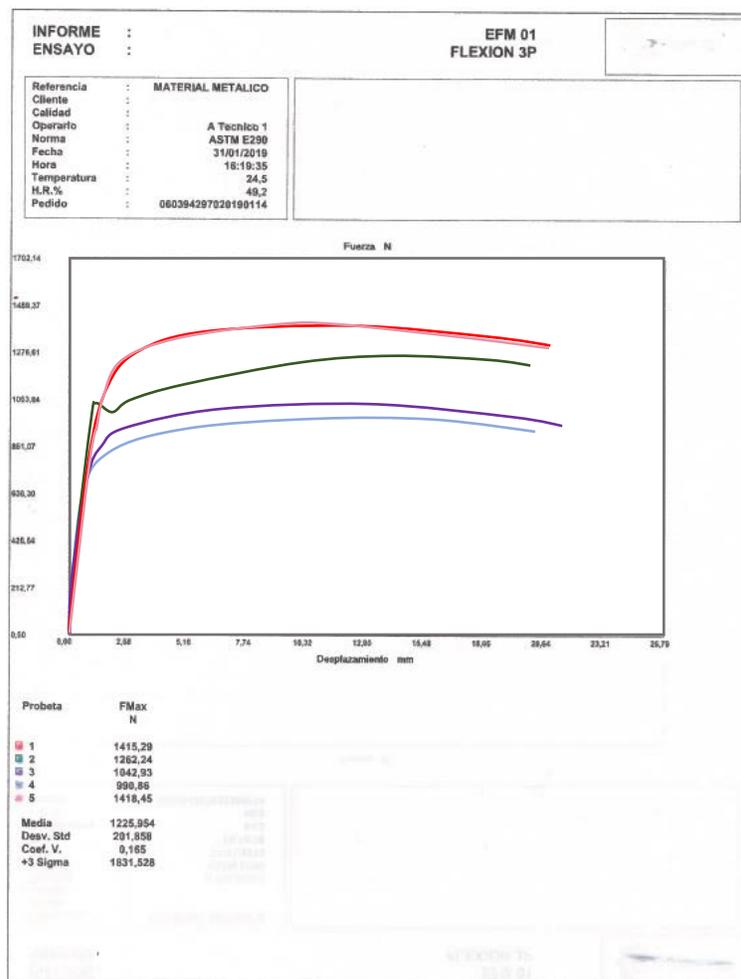
FECHA: 31/01/2019

CLIENTE: ALEX MAURICIO TIPAN SUAREZ

DIRECCIÓN: PICHINCHA / QUITO

MATERIAL: TUBO ESTRUCTURAL 50X50X3

TIPO DE MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL – NORMA ASTM A500



Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc  
PROFESOR RESPONSABLE LABORATORIO  
DE RESISTENCIA DE MATERIALES



## **FICHA TECNICA ACERO GALVANIZADO**

### **Z-275**

#### **PROPIEDADES**

Los aceros galvanizados en caliente están formados por un sustrato de acero sobre el que se aplica un recubrimiento de zinc (cincado), mediante un proceso continuo de galvanizado por inmersión en baño caliente. Este tipo de materiales están disponibles en distintos grados de acero que van, desde aceros para aplicaciones propias de plegado y embutición profunda a aceros estructurales y aceros de alto límite elástico.

Es posible la fabricación de un acabado superficial brillante obtenido mediante condiciones específicas de proceso de temperizado.

#### **VENTAJAS**

Los aceros galvanizados en caliente ofrecen una excelente resistencia a la corrosión, así como una muy buena aptitud de conformado. El tipo de proceso empleado en el recubrimiento empleado para el recubrimiento permita la fabricación de espesores del zinc empleado que pueden alcanzar hasta los 725 gr/m<sup>2</sup> (total por ambas caras)

#### **APLICACIONES**

Los aceros galvanizados en caliente son aptos para su utilización en una muy amplia gama de sectores, tanto de exterior como de interior.

- CONSTRUCCION: Perfiles para techos, revestimientos de fachadas, puertas metálicas, tabiques, elementos de carpintería, etc.
- ELECTRODOMESTICOS: Aparatos de línea blanca, etc
- OTROS: Componentes para sistemas aerólicos, equipos de aire acondicionado, etc

Estos aceros galvanizados en caliente son aptos para en aplicaciones donde se requiera un contacto con productos de uso alimenticio, siempre que cumplan normativas actuales vigentes.

Desde el 1 de julio de 2013, el Reglamento de Productos de Construcción de la Unión Europea (Nº305/2011-CPR) exige colocar marcado CE de acuerdo con la norma europea o Documento de Ideonidad Técnica (DITE). Este marcado CE acredita y garantiza para los usos definidos en la norma, las propiedades descritas

## **RECOMENDACIONES DE USO**

### **ALMACENAMIENTO**

En la mayoría de los casos, los aceros galvanizados en caliente se suministran en estado pasivado ya aceitado con el fin de limitar temporalmente el riesgo de formación de óxido blanco. Durante las acciones propias de transporte y almacenamiento, se deberán adoptar medidas para mantener el material seco y evitar la aparición de condensación, y es por lo cual, estos aceros galvanizados llevan una película protectora contra la oxidación.

### **LAMINACION Y ENSAMBLAJE**

En el procesamiento de los productos de acero galvanizado se utilizan las mismas técnicas de laminación y ensamblaje que la utilizadas en los aceros convencionales.

No obstante es muy importante seleccionar un recubrimiento de zinc que sea compatible con los procesos de conformación y ensamblaje previstos, teniendo siempre en cuenta el grado deseado de protección contra la corrosión.

### **PINTURA**

Cuando el galvanizado está aceitado, este tipo de acero requiere desengrasado y tratamiento específico de la superficie a recubrir.

El producto admite aplicación directa de la pintura sin tratamiento superficial previo.

### **SOLDABILIDAD**

En caso de soldadura eléctrica por resistencia, es necesario adaptar convenientemente los parámetros de intensidad de la corriente, aumentando así la vida útil de los electrodos regulando dicha intensidad procediendo a un rectificado (mecanizado) periódico de los mismos.

## **ANALISIS QUIMICOS**

## Análisis químicos

### Aceros para aplicaciones de conformación en frío y de embutición profunda

	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Al (%)	Nb (%)	Ti (%)
DX51D +Z EN 10346	≤ 0,180	≤ 1,20	≤ 0,120	≤ 0,045	≤ 0,50	-	-	≤ 0,300
DX52D +Z EN 10346	≤ 0,120	≤ 0,60	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,50	-	-	≤ 0,300
DX53D +Z EN 10346	≤ 0,120	≤ 0,60	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,50	-	-	≤ 0,300
DX54D +Z EN 10346	≤ 0,120	≤ 0,60	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,50	-	-	≤ 0,300
DX56D +Z EN 10346	≤ 0,120	≤ 0,60	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,50	-	-	≤ 0,300
DX57D +Z EN 10346	≤ 0,120	≤ 0,60	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,50	-	-	≤ 0,300

### Aceros estructurales

	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Al (%)	Nb (%)	Ti (%)
S220GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S250GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S280GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S320GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S350GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S390GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S390GD +Z ETA-13/0257*	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S420GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S450GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-
S550GD +Z EN 10346	≤ 0,200	≤ 1,70	≤ 0,100	≤ 0,045	≤ 0,60	-	-	-

\* Calidad de acero con marcado CE de acuerdo con el Documento de Idoneidad Técnica Europeo DITE 13/0257

## Características del recubrimiento

Designación EN 10326	Peso del recubrimiento – ambas caras (g/m <sup>2</sup> )	Espesor del recubrimiento (µm por cara)
Z80	80	5,5
Z100	100	7,0
Z140	140	10,0
Z200	200	14,0
Z225	225	16,0
Z275	275	20,0
Z350	350	25,0
Z450	450	31,0
Z600	600	42,0
Z725	725	51,0



Dirección: Av Luxemburgo Parcela G-10  
Nave 6, POLIGONO INDUSTRIAL  
CABEZO BEAZA, 30353 Cartagena,  
Murcia (SPAIN)

Telf. +34 968 501406

Fax. +34 968 501438

info@e-palsa.com

www.e-palsa.com