

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingenierías

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes del Vehículo

Análisis estructural de chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida sometido a prueba de impacto lateral basado en simulación por el Método de Elementos Finitos

Jairo Edison Guasumba Maila

Nota del autor

Jairo Edison Guasumba Maila, Facultad de ingeniería Arquitectura e Ingeniería,  
Universidad Internacional SEK

Director Ing. Santiago Celi, M.S.C

Cualquier correspondencia a este trabajo puede dirigirse a:

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

## Declaración Juramentada

Yo, Jairo Edison Guasumba Maila, con cédula de identidad 171923750-3, 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 las 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. El presente trabajo pertenece al programa DESARROLLO TECNOLÓGICO y a la Línea de Investigación Innovación en el Diseño de Proceso y Productos en el Ecuador.

Jairo Edison Guasumba Maila

CI.: 171923750-3

## Agradecimiento

Agradezco de todo corazón a mis padres ya con su apoyo he podido culminar una meta más de tantas que me he propuesto; en esta etapa de mi vida profesional reitero sus palabras el éxito de un hijo es el éxito de un padre y se ve reflejado en mí ya que con sus consejos y apoyo supieron forjar en mí una persona de bien, por lo cual estoy muy agradecido y no encuentro palabras para agradecer por tantos valores y enseñanzas que me supieron dar a lo largo de mi vida. Es por esto que honro a mis padres por el sacrificio que realizaron para darme lo mejor.

Agradezco al I.S.T. Tecnoecuatoriano por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

Agradezco a U.I.S.E.K, esta institución de enorme calidad, que me brindo todo el apoyo durante mi carrera de postgrado.

## Índice de Contenidos

Declaración Juramentada.....	2
Agradecimiento.....	3
Índice de Contenidos .....	4
Índice de Figuras .....	6
Índice de Tablas .....	9
Lista de Ecuaciones .....	10
Resumen .....	11
Abstract.....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
Antecedentes .....	13
Planteamiento del Problema.....	17
Justificación .....	19
Estudio del Arte.....	21
Parámetros de Diseño .....	25
Sistema de Modelados .....	26
Materiales.....	26
Ingeniería Estructural de una Carrocería.....	27
Dinámica Vehicular .....	27
Métodos de discretización por elementos finitos.....	28
Modelado Computacional .....	30
Malla.....	31
Simulación de Impactos .....	33
Velocidad de Impacto .....	33
Tipos de Impactos.....	35
Pruebas de Choque .....	36
Simulación de Prueba Antivuelco.....	36
MÉTODO .....	38
Tipo de estudio.....	38
Modalidad de investigación .....	39
Diseño de la geometría – Datos de entrada .....	40
Modelación.....	42
Mallado para Análisis MEF .....	43

Asignación de cargas aplicadas a la estructura.....	45
Cargas Estática .....	45
Combinación de Cargas .....	53
Población y Muestra .....	55
Selección de instrumentos de investigación.....	57
Validez y confiabilidad de los instrumentos .....	57
Materiales.....	58
Diseño e Implementación .....	58
Asignación de cargas .....	59
Factor de Seguridad .....	60
RESULTADOS.....	62
Materiales:.....	62
Simulación.....	76
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	79
Diseño de propuesta.....	88
Simulación.....	88
Diseño de la estructura con tubo Ø50.8 x 3 mm.....	89
Conclusiones .....	93
Recomendaciones .....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96

### Índice de Figuras

Figura 1. Resultados de Simulación en un auto de competición. Tomado de (Oller, B., 2016) .....	29
Figura 2. Resultados de las Tensiones en un Cigüeñal. Tomado de (Oller, B., 2016) .....	30
Figura 3. Modelación Computacional. Tomado de (Avilés, R., 2017).....	31
Figura 4. Modelación Computacional. Tomado de (DASSULT SYSTEMES, 2018) .....	32
Figura 5. Mallado en la estructura de un bus. Tomado de (Cháfuel, V., 2017) .....	32
Figura 6. Dirección de la Velocidad (Impacto Frontal). Tomado de (Cháfuel, V., 2017).....	34
Figura 7. Velocidad Angular de Impactación. Tomado de (Arroba, C., 2013).....	37
Figura 8. Procedimientos Metodológicos. Tomado de (Borja, S. & Morocho, P., 2017).....	39
Figura 9. Cabina Buggy. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017).....	41
Figura 10. Parte Posterior Buggy. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017) .....	41
Figura 11. Parte Principal del Buggy. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017) .....	41
Figura 12. Modelación geométrica de la estructura. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017) .....	41
Figura 13. Conjunto estructural. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017) .....	42
Figura 14. Material de la estructura del vehículo. ....	43
Figura 15. Análisis de Mallado. ....	44
Figura 16. Carga muerta - peso total del chasis. ....	46
Figura 17. Carga viva - carga por ocupación. ....	47
Figura 18. Carga de Giro. Tomado de (Rivera, 2016).....	49
Figura 19. Soldadura de Filete. Tomado de Fuente: (AWS D1.3, 1999).....	53
Figura 20. Buggy ensamblado sistemas Automotrices .....	58
Figura 21. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en ASTM A36. ....	62
Figura 22. Análisis de Desplazamiento en ASTM A36.....	63

Figura 23. Análisis de Factor de Seguridad en ASTM A36.....	63
Figura 24. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Aluminio con Calidad 6061 .....	64
Figura 25. Análisis de Desplazamiento en Aluminio con Calidad 6061. ....	64
Figura 26. Análisis de Factor de Seguridad en Aluminio con Calidad 6061 .....	65
Figura 27. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 304.....	65
Figura 28. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 304 .....	66
Figura 29. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 304 .....	66
Figura 30. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 316.....	67
Figura 31. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 316 .....	67
Figura 32. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 316 .....	68
Figura 33. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 1010.....	68
Figura 34. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1010.....	69
Figura 35. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1010 .....	69
Figura 36. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 1015 .....	70
Figura 37. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1015.....	70
Figura 38. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1015 .....	71
Figura 39. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 1018.....	71
Figura 40. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1018.....	72
Figura 41. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1018 .....	72
Figura 42. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 1020.....	73
Figura 43. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1020.....	73
Figura 44. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1020 .....	74
Figura 45. Modelado del chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida .....	76
Figura 46. Ubicación de las restricciones en el chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida .....	76
Figura 47. Gestor de Diseño .....	77
Figura 48. Mallado del chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida.....	77
Figura 49. Análisis de Impacto Lateral de Tensiones según la escala de VON Mises .....	78

Figura 50. Análisis de Impacto Lateral de Desplazamiento..... 78

Figura 51. Análisis de Impacto Lateral de Factor de Seguridad. .... 79

Figura 52. Análisis de Velocidad de Impacto a 100 Km/h ..... 79

Figura 53. Estadística de la Velocidad de Impacto Vs Deformación a 100 Km/h ..... 80

Figura 54. Análisis de Velocidad de Impacto a 200 Km/h ..... 80

Figura 55. Estadística de la Velocidad de Impacto Vs Deformación a 200 Km/h ..... 81

Figura 56. Análisis de Prueba de Impacto Lateral. Vista superior. Tomado de (Borja, S. & Morocho, P., 2017)..... 86

Figura 57. Análisis de Prueba de Impacto Lateral. Vista lateral. Ansys. Tomado de (Borja, S. & Morocho, P., 2017)..... 87

Figura 58. Variación Máxima de la Deflexión. Tomado de (Redondo, R, 2017) ..... 87

Figura 59. Desplazamiento. Tomado de (Valenzuela, R., & otros, 2013)..... 88

Figura 60. Análisis de Impacto Lateral de Tensiones según la escala de VON Mises, con tubo redondo de Ø50.8 x 3 mm ..... 90

Figura 61. Detalle de la ubicación generada de mayor tensión, , con tubo redondo de Ø50.8 x 3 mm..... 90

Figura 62. Análisis de Impacto Lateral de Desplazamiento, con tubo redondo de Ø50.8 x 3 mm ..... 91

Figura 63. Análisis de Impacto Lateral de Factor de Seguridad, con tubo redondo de Ø50.8 x 3 mm ..... 91

Figura 64. Vista isométrica posterior del buggy ..... 92

Figura 65. Vista isométrica frontal del buggy..... 92

Figura 66. Buggy completado..... 92

**Índice de Tablas**

Tabla 1. Peso total para la Carga Muerta. ....	45
Tabla 2. Masa de ocupantes. ....	46
Tabla 3. Velocidades y Radios Mínimos en Carretera. ....	49
Tabla 4. Peso de estructura metálica. ....	51
Tabla 5. Valor $Z_\alpha$ para diferentes Niveles de Confianza. ....	56
Tabla 6. Valor $Z_\beta$ para diferentes Niveles de Poder Estadístico. ....	56
Tabla 7. Número Mínimo de Observaciones. ....	56
Tabla 8. Cargas Estáticas. ....	59
Tabla 9. Cargas Dinámicas. ....	59
Tabla 10. Factor de diseño, aplicación en materiales dúctiles. ....	60
Tabla 11 Resumen de Análisis. ....	74
Tabla 12. Cargas Determinadas ....	81
Tabla 13. Cargas basadas en $1.2 CM + 0.5CV + 0.5CF + 1.3CRaf$ ....	82
Tabla 14. Desplazamiento Analítico ....	83
Tabla 15. Tabla de Comparaciones de Desplazamientos ....	84
Tabla 16. Factor de Seguridad ....	85

**Lista de Ecuaciones**

(1) Carga Muerta.....	46
(2) Carga Viva.....	47
(3) Carga de Frenado .....	48
(4) Carga de Giro .....	50
(5) Carga por Resistencia del Aire Frontal .....	50
(6) Impacto .....	52
(7) Número Mínimo de Muestras .....	55
(8) Desplazamiento.....	83

## Resumen

El estudio radica en la verificación que se da un chasis tipo Jaula Nissan Tiida de un buggy, modelo Tubular Arenero, sometido a pruebas de impacto lateral, mediante una simulación originada por el Método de Elementos Finitos que permite definir el comportamiento estructural de materiales dúctiles establecidos, donde la mejora en seguridad debe ser una de las principales fuentes a combatir. El proyecto, se enfoca a nivel cuantitativo, descriptivo y experimental; continuándose con la modelación de la geometría del chasis tubular con dimensiones como son largo: 3615 mm, ancho: 1409 mm y alto: 1102.5 mm, además en base a la Norma 1323:2009 se determinan las cargas estáticas, definidas como muertas y vivas; así como las dinámicas, establecidas como de frenado, aceleración brusca, carga de giro, carga por resistencia del aire frontal; y con combinaciones establecidas en el Método LRFD, se estableció el material a utilizar. Bajo el método propuesto con el material ASTM A36, un factor de seguridad de 4.6 y presenta mejores propiedades se elige el acero A36. Se determinó mediante el MEF y de manera analítica el desplazamiento de la estructura ante un impacto lateral, dando un error en comparación, en el ASTM A36 de 1.318%; en el Aluminio con Calidad 6061 de 0.021%; en el AISI 304 de 1.309%; en el AISI 316 de 2.215%; en el AISI 1010 de 1.318%; en el AISI 1015 de 1.719%; en el AISI 1018 de 5.151%; en el AISI 1020 de 1.318%. Mediante ensayos similares se validó la investigación originada, donde mediante un proceso de tipo MEF se determina deformación, esfuerzo y desplazamiento y se dio la reconstrucción del chasis en base a la reingeniería, con los materiales determinados, validando de esta manera el prototipo.

**Palabras clave:** análisis estructural, chasis tubular, modelado, dinámica vehicular, factor de seguridad, ASTM A36.

### Abstract

The study is based in the verification made in a chassis kind cage of the Nissan Tiida of a buggy, model tubular sand, this was subjected to lateral impact probes, by a simulation originated by finite elements Method, which allows to define the ductile established structural behavior materials, where the improvement in security must be one of the most important things to combat . The project, in focused in a quantitative level, descriptive and experimental, continuing with the modulation of the geometry of the tubular chassis with dimensions such as : length 3615 mm, width 1409 mm and height 112.5 mm, additionally in base to the rule 1323:2009 the static charged are established, they are definite as deaths and alive; such as the dynamics, established as braked, fast speed up, rotation loading, loading by toughness of the frontal air and with combinations established in the model LRFD, the material used was considered . Under this method proposed by the material ASTM A36, a security factor of 4,6 and show better properties it is chosen the iron A36.

It is determined by the MEF and in a analytic the displacement of the structure because the lateral impact giving an error in comparison, in the ASTM A36 of 1,318 % in the aluminum with quality 6061 of 0,021 % in the AISI 304 of 1,309, in the AISI 316 of 2.215 % in the AISI 1010 of 1,318 % in the AISI 1015 of 1,719 % in the AISI 1018 of 5,151 % in the AISI 1020 of 1,318 % . through similar proofs the original investigation was based, where by a process of the type MEF the deformation is established, effort and displacement and the reconstruction of the chassis in base of the reengineering was made, with the determinate materials, in this way the prototype is useful.

**Key words :** structural analyses, tubular chassis, vehicular dynamic, security factor, ASTM A36.

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), a nivel global, el “Ecuador, es el segundo país en América Latina, con más índices de mortalidad por accidentes de tránsito, alcanzando hasta 28 muertes por cada 100 000 habitantes, superado solo por Venezuela en el que ocurre hasta 37,2 fallecimientos por cada 100 000 habitantes” (La Hora, 2013).

La industria automotriz evoluciona año tras año, presentando un interés radical, en varios países, siendo la Comunidad Europea los pioneros en implementar medidas de seguridad, en base a ensayos virtuales dados por colisiones laterales, frontales y posteriores en la estructura, variando su geometría, evitando deformaciones durante los siniestros en carreteras, así como pruebas de resistencia, absorbiendo la energía en caso de impacto, en caso de que se dé un vuelco, generando interés por lograr sistemas más eficientes, mediante investigaciones originadas en compañías y universidades.

Según Badea, F., (2014), en la actualidad el desarrollo de productos mediante ingeniería, se da a través de pruebas extensivas utilizadas, a la hora de desarrollar estructuras, dependiendo principalmente de las características modeladas, así como el tipo de análisis, teniendo presente tres principales fuentes de incertidumbres, las cuales son de:

- Simplificación, las mismas que se usan al momento de modelar estructuras complejas, en base a resultados de calidad, formulaciones propias, mediante el análisis de elementos como son de tipo viga, área y volumen.

- Estimación, permite conocer los parámetros que caracterizan el comportamiento de la estructura original, utilizando materiales de variabilidad aceptables.
- Determinadas por el mallado, en base a un modelo equivalente, con un número de elementos finitos y nodos, establecidos, implementando diversos métodos y criterios, con mayores densidades de los elementos, en las regiones más conflictivas.

El chasis al ser una estructura, usada para conectar rígidamente los diferentes sistemas que conforman los vehículos, es un elemento muy importante a tener en cuenta, por lo que las pruebas de choque, establecen un factor importante en las últimas décadas, durante el proceso de la fabricación de automóviles de cualquier tipo, para lo cual se utiliza herramientas computacionales que determinan el estado de tensiones, en base a diferentes situaciones de impacto, efectuada por el Método de Elementos Finitos (MEF), la cual provee información detallada sobre el comportamiento de la estructura de un vehículo ante un impacto, obteniendo un enfoque, más claro de las reacciones, tensiones y deformaciones, dadas, con estructuras más rígidas y zonas de absorción eficientes, garantizando un modelo seguro y de confort, aportando información valiosa a los ingenieros, donde se definen condiciones de borde, dimensiones, mediante un modelo CAD, el cual es trasladado al CAE mediante un proceso de diseño, en donde se analizan velocidades, restricciones y control de movimientos (Portillo, M. & otros, 2011).

La industria automotriz con tecnología CAD/CAE/CAM, es muy aplicable en la actualidad, evolucionando a un ritmo acelerado, pudiendo generar productos de altísima calidad así como de seguridad, con gran diversidad de productos, volumen alto de producción, así como de competitividad, con una gran heterogeneidad de modelos; en vista que CAD se trata del Diseño Asistido por Computadora, mostrando diversas ventajas como es la facilidad e interactividad

para poder ingeniar nuevos diseños, con la capacidad de simular el comportamiento de los modelos a estudio, así como de los materiales que se pretende antes de la construcción, pudiendo modificar parámetros definidos inicialmente; mientras que el CAE, se trata de la Ingeniería Asistida por Computadora, en base a un modelo geométrico establecido como punto de iniciación, utilizado para analizar y procesar un determinado producto, con ayuda de ordenadores, y finalmente el CAM que por sus términos en inglés, significa, Fabricación Asistida por Computadora, la cual se da a través de un determinado proceso en un producto definido (Escudero, 2015).

Las características técnicas del tipo de vehículo han mejorado con los años, aligerando su peso, aumentando la resistencia en estructuras, en base a compuesto de tubos de acero, en forma triangular, sometidos a cargas dimensionales.

El avance de la tecnología, ha permitido actualmente “El análisis de accidentes reales, donde el correcto uso de las herramientas permite predecir resultados, siendo más, convincentes y confiables; sometidas a acciones diversas, que permitan procesar una simulación de impactos, mediante el Método de Elementos Finitos” (Becerril, D., 2013).

El objetivo principal, del análisis estructural de un chasis, según Esmeraldas, C., (2016), es resolver problemas presentes mediante una solución efectiva, aplicando conocimientos adquiridos, utilizando programas computacionales, analizando métodos explícitos e implícitos, con procesos simples de cálculos, así como análisis estáticos y dinámicos que garanticen la seguridad, reproduciéndose ensayos virtuales, por elementos finitos.

La ingeniería debe satisfacer los requerimientos funcionales para los que están diseñados, mediante soluciones óptimas, donde la evolución nunca termina siendo estas permanentes (Vázquez, V., 2014).

El chasis al ser considerado, como una estructura, usada para conectar rígidamente los diferentes sistemas que conforman los vehículos y según las diferentes Normas Técnicas Ecuatorianas a tener presentes, indican que:

La clasificación de los vehículos, está estipulado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656, que indican, que los automotores se dividen en motorizados y no motorizados, identificado mediante características de diseño y aplicación; ubicando al vehículo utilizado por el chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida, en la Categoría M1, en la cual se especifica, que están todas las unidades, con capacidad no mayor a 8 plazas, sin tomar en cuenta el asiento del conductor, diseñados para circulación terrestre.

Mientras que la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002, clasifica a los vehículos en livianos, medianos y pesados, detallando que:

- Vehículos Livianos, son automotores diseñados para transportar hasta 12 personas.
- Vehículos Mediano, son automotores diseñados para transportar más de 12 personas o carga; peso bruto vehicular 3 960 kg.
- Vehículos Pesados, son automotores; cuyo peso bruto vehicular es superior a 3 960 kg

En tanto que la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009), establece los requisitos generales para el diseño, fabricación y montaje de carrocerías, especificando las siguientes consideraciones, como son:

- Chasis, tipo de servicio, peso bruto vehicular, peso del chasis en vacío, entre otras.
- Estabilidad, distribución de la masa, altura del centro de gravedad, dimensión de la carrocería.
- Seguridad, manejan las pasivas y activas.
- Estructura, donde se detalla, los materiales metálicos y no metálicos, uniones y juntas, geometría y resistencia estructural; así como las cargas de diseño usadas para el análisis cuasi estático, cargas vivas que representan al peso corporal de las personas, de giro las cuales se dan en función de la fuerza centrífuga, de frenado donde se ubica una desaceleración definida por la norma, carga de aceleración brusca y carga por resistencia de aire frontal en un plano perpendicular al eje longitudinal.
- Montaje.
- Métodos de anclaje, etc.

### **Planteamiento del Problema**

Actualmente el Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, posee un automotor Buggy de modelo Tubular Arenero, el cual va a participar en la competencia, en Cayambe, Otón, a inicios del año 2019, por lo que en el desarrollo del proyecto, según la necesidad, de verificar que dicho chasis tipo Jaula Nissan Tiida, sea funcional y confiable por ser la parte donde se ubican todos los subsistemas de la unidad ofreciendo al vehículo soporte y rigidez, debiendo salvaguardar la integridad física de los pilotos.

Otro de los inconvenientes, es el conflicto que puede originarse por fallas mecánicas, no estipuladas por algún impacto durante la carrera, debiendo analizarse mediante un estudio que involucre la geometría, dimensiones y materiales de la carrocería, no existiendo en el Ecuador un

proceso o método para análisis de impactos, que abalicen la efectividad de la construcción y resistencia de materiales, con los cuales fueron constituidos.

El desarrollo del proyecto, consiste en realizar un análisis estructural de chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida, sometido a pruebas de impacto lateral, mediante simulación originado por el Método de Elementos Finitos, el cual permitirá definir el comportamiento estructural del buggy ante un impacto lateral, observando deficiencias que pudieran haberse dado durante el diseño estructural o selección de materiales, mediante un análisis que garantice el cumplimiento de estándares nacionales e internacionales.

El presente estudio está focalizado, en el análisis estructural de un chasis tubular sometido a pruebas de impacto lateral, mediante el uso del Método de Elementos Finitos, donde se optimiza y valida a través del *Solidworks*, estableciendo la geometría, las unidades, el material, así como las condiciones de contorno, permitiendo modelar en 3D todas las herramientas que constituyen el diseño, analizando estructuralmente, al cual se le agregarán las condiciones de borde como son las restricciones.

Con el estudio focalizado, en el análisis estructural del chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida, el problema científico sería:

- ¿Con el análisis definido y desarrollado, se logrará identificar la zona estructural crítica?
- ¿Con el análisis definido y establecido al chasis tubular, el vehículo será seguro y apropiado para circular en vías de segundo orden?

## Justificación

La industria automotriz evoluciona, siendo necesario efectuar investigaciones que contribuyan al desarrollo de la misma, analizándose el factor más importante como es la seguridad de los pilotos, desde el punto de vista de diseño.

La mejora en seguridad de los vehículos, debe de ser una de las principales fuentes a utilizar para combatir la mortalidad, por lo que la protección de los pilotos en caso de ser impactados lateralmente, durante la competición, ha generado la necesidad de desarrollar métodos que imiten a la realidad. Por lo cual la disposición de este proyecto de tesis, tiene el propósito de ejecutar un análisis de tipo estático y dinámico, de un chasis tubular tipo jaula, obteniendo datos que sirvan como factor de juicio para el diseño y construcción de la estructura, determinando la necesidad de modificación en las geometrías de diseño; lo cual permitirá que el chasis tubular propuesto perteneciente al Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, sea modelo de estudio contribuyendo en su vinculación con áreas investigativas, esperando obtener resultados satisfactorios, para lo cual se considerará normas de seguridad y parámetros internacionales utilizadas en la fabricación de vehículos tubulares, ayudando a brindar un servicio seguro como son:

- Las Normas Federales de Seguridad para Vehículos de Motor (FMVSS - 213) y la *National Highway Traffic Safety Administration* (NTHSA – 49 USC 30111) que traducido quiere decir Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras.

- Las Euro NCAP (Programa de Evaluación de Automóviles Nuevos Producidos en Europa), así como la Norma Europea EN 1317, donde se establecen el nivel de contención, severidad de impacto y deformación de la barrera de seguridad.
- La Normativa de Transporte Internacional Terrestre (A.T.I.T.), utilizada en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay, Perú y Uruguay.
- Las Normas Técnicas Ecuatorianas (N.T.E) originadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en el Ecuador, entre otras.

En base a las justificaciones señaladas se origina una hipótesis general que sería:

¿Con el análisis establecido y definido, de un chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida, basada en simulación por el método de elementos finitos, se logrará determinar el comportamiento estructural ante un impacto lateral?

El objetivo general de la investigación es:

Analizar estructuralmente un chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida sometido a una prueba de impacto lateral, basado en una simulación por el método de elementos finitos para su rediseño.

Entre los objetivos específicos constan:

- Realizar el cálculo estático y dinámico de la estructura por medio de la Norma Técnica INEN 1323 de Estándares Nacionales e Internacionales ECE R95, para la determinación de su resistencia.

- Efectuar un modelado en 3D de la geometría de la estructura en un sistema CAE (*Solidworks*) para el análisis estático de la estructura acorde a los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN 1323:2009, mediante la ejecución de combinaciones de cargas especificadas en la misma.
- Evaluar de los materiales (Aleaciones de Aluminio con calidad 6061, Acero ASTM A36, AISI 304, AISI 1020, AISI 1018, AISI 1015, AISI 1010 y AISI 316) a emplear en la construcción del chasis el más idóneo mediante la simulación por elementos finitos, para la obtención de los desplazamientos, deformaciones y tensiones de los componentes con cargas internas y externas.
- Construir el chasis a partir de los datos obtenidos en el método analítico y de simulación para la validación del prototipo.

### **Estudio del Arte**

El diseño estructural de vehículos tubulares, ya sean estos de acero estructural ASTM A36 o de otros, exhorta la determinación de las proporciones y dimensiones globales de la estructura soportante, así como la selección de las secciones transversales de los miembros individuales, cooperando a lo largo del diseño en el proyecto de manera eficiente; decidiendo el ingeniero industrial cómo debe verse la estructura tubular mientras que el master en diseño garantiza que esta estructura soportara impactos laterales ante un posible choque o volcamiento. Aunque esta diferenciación es sumamente simplificada, ella señala que la primera prioridad es la seguridad de los pilotos.

Teniendo en cuenta que la seguridad de los pilotos es el factor más importante, se analiza desde el punto de vista de diseño, llegando a modelar con elementos finitos el efecto de “Impacto Lateral” de la estructura tubular biplaza.

En este proyecto se ha conseguido adentrarse de pleno en el diseño, estudios de cargas y problemas típicos del mundo de la automoción, optándose por el diseño de un vehículo del tipo Buggy por las siguientes razones:

- En el campo automotriz, existe una multiplicidad evidente por lo que respeta los cálculos a la hora de fabricar un vehículo, proporcionando los prototipos tubulares unos diseños de complejidad moderada pero accesible, creando un automóvil de características de acuerdo al tiempo con el que se ha dispuesto para realizar el proyecto.
- Los prototipos tubulares son vehículos muy atractivos respecto a la funcionalidad, eso sumado a la disminución de consumo de combustible, la viabilidad económica concerniente a los repuestos y mantenimiento, así como la facilidad de fabricación, ofreciendo una cierta credibilidad de que en un futuro se va a poder conducir un propio diseño.

El objetivo principal del análisis estructural es asegurar la fiabilidad y la durabilidad de las estructuras mediante de pruebas de campo reales en un modelo físico a escala o a través del uso de un modelo matemático (simulación); basándose los métodos del análisis estructural en la concepción de una determinada estructura tal como un cuerpo elástico ideal.

Mediante de los conocimientos adquiridos en la maestría de Diseño Mecánico, se puede realizar un análisis completo, de cada parámetro que forma parte de la configuración del

software, donde se lleva a cabo el estudio, configurando la experiencia en mecánica y resistencia de materiales, para poder interpretar el comportamiento de la carrocería al condicionarle parámetros como restricciones, masas, velocidades, cargas muertas, etc.

A continuación, se exponen investigaciones relacionadas con el tema de estudio, de diferentes universidades, las cuales son:

Fierro, P. y Vergara, M., (2017) en su proyecto de investigación bajo el tema “ Modelado y simulación numérico – matemático de parámetros de funcionamiento para un vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca – Ecuador” Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Unidad de Posgrados, indican que se han identificado variables relevantes, mediante herramientas computacionales, donde se determina la autonomía de un vehículo eléctrico ubicados por encima de 2000 m sobre el nivel del mar, validando y planteando un error máximo del 3.85%, donde se verifica las variables de control y su interacción; recomendando modelar el comportamiento de los parámetros del funcionamiento, teniendo presente que el desarrollo de simulaciones matemáticas es una herramienta útil para poner en práctica los elementos finitos, encontrándose en constante evolución, donde se transmite el movimiento generado por un conjunto de sistemas.

Borja, R. y Morocho, P., (2017), presentan el “Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo formula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca 2017”, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, donde se concluye que el diseño y la simulación numérica, dio un resultado satisfactorio, optimizando tiempo y dinero, según exigencias y utilidades propuestas, normalizada, implicando la creación de una base de datos con coordenadas, barras y programación, permitiendo generar un algoritmo de división en elementos discretos, requiriendo en primera instancia una modelación de dicha estructura, donde

se limita las restricciones correspondientes al pre-proceso, así como al proceso mediante la simulación de las pruebas y la obtención de resultados; validando la confiabilidad y efectividad del software, dando factores de seguridad muy satisfactorios positivos.

Pozo, J., (2014), con el tema “Propuesta de Procedimientos de Análisis y de Diseño de Superestructuras de Autobuses”, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México, indico que, se desarrolló y aplicó un procedimiento de optimización estructural topológico y de simulación computacional de vuelco, adecuado, permitiendo obtener un diseño ligero, seguro y eficiente estructuralmente, considerando cargas de vuelco y de funcionamiento, como son la aceleración, el frenado, el giro, el peso de pasajeros entre otras, determinando si se presenta una intrusión de los componentes en el espacio de supervivencia, evaluando la seguridad ofrecida, definiendo las trayectorias de cargas que servirán para ubicar los perfiles, entregando resultados que no pueden ser utilizados directamente, dimensionando las secciones transversales, logrando obtener un diseño de bajo peso que no supera los esfuerzos permisibles del material, profundizando en normativas de diseño de carrocerías de autobuses, modelado con herramientas CAD, así como en el análisis por elementos finitos lineal y no lineal.

Con la investigación titulada como “Análisis Estructural a Cargas de Impacto Frontal de un Bus Tipo Interprovincial mediante el Método de Elementos Finitos”, Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional; determinaron el comportamiento estructural mediante el método de elementos finitos (FEM), recopilando información científica para el establecimiento y de limitación del estudio basado en Normas Internacionales y Nacionales, proyectando geométricamente, planteando las condiciones de borde, mediante el análisis computacional a impacto, identificando zonas críticas y realizando el cálculo analítico idealizado, logrando análisis matemáticos basados en la simulación del *software* de ingeniería asistida, evaluando el

comportamiento elastoplástico, analizando la deformación en determinados sólidos, desde una perspectiva de modelo dinámico, validando el estudio de esta manera (Manjarrés, F. y Santillán, E., 2016).

Menghini, M., (2013), con su tema titulado como “Análisis de impacto lateral de chasis jaula de vehículo unipersonal de tres ruedas”, La Plata, Argentina: Departamento Aeronáutico, Facultad de Ingeniería de La Plata, indica que el factor más importante en el diseño del chasis es la seguridad, por lo que se analiza el Impacto que sufre la estructura, donde va ubicado el piloto, impactándole lateralmente, con una velocidad mayor a 20 km/h contra una columna, concluyendo que no sería capaz de contener las deformaciones en la parte superior, en tanto que la parte inferior se mantiene aceptable.

Vázquez, A., (2014), con su tema titulado “Diseño conceptual de un sub-chasis automotriz mediante optimización estructural topológica”, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestrías y Doctorados en Ingeniería, especifica que, la configuración del sub-chasis es una alternativa para disminuir el peso del vehículo, definiendo otro diseño con ayuda de los elementos finitos, donde se aplica análisis de fatiga, el cual se dispone de la repetición de cargas que originan esfuerzos, en base a una metodología comprobada; donde la optimización topológica permite identificar un modelo conceptual aceptable en base a trayectorias de cargas definidas.

### **Parámetros de Diseño**

La Aenor (2016), especifica que todas las industrias automotrices europeas cumplen con:

- Competitividad

- Seguridad vial, donde se apoya en la reglamentación ISO 13216, 3560, 7637, 3779 entre las más importantes, en base a procedimientos y buenas prácticas.
- Cuidado al medio ambiente
- Logística y distribución

### **Sistema de Modelados**

Clairand y Ver., (2015), señala que el sistema de modelados por el Método de Elementos Finitos, se da en base a la construcción de bloques, donde se divide en un número determinado de partes, como son:

1. Fuentes de alimentación, como la batería
2. Sistema de potencia, que comprende en el inversor, la inductancia del motor, así como el reductor, las ruedas y el chasis.
3. Modelo del sistema
4. Control del sistema
5. Control de la estrategia, el cual consiste en un mecanismo que no permite descarga a la batería por debajo de su tensión mínima.

### **Materiales**

Los materiales más usados, en una determinada carrocería por su utilidad, accesibilidad, costos y propiedades mecánicas anticorrosivas es el Acero ASTM A36 y el ASTM A500, siendo de características similares, los cuales poseen un comportamiento elástico – plástico que permite

la deformación, para absorber la mayor cantidad de energía, debido al flujo que presenta, como es el módulo de elasticidad de 200 GPa, el módulo cortante de 76.923 GPa, la resistencia a la fluencia de 320 MPa, mientras que la resistencia última a la tensión es de 405 MPa y finalmente el porcentaje de elongación varía del 21 al 25% (AHMSA, 2013).

### **Ingeniería Estructural de una Carrocería**

La ingeniería estructural, tiene como objetivo asegurar la fiabilidad y durabilidad de las estructuras, donde se pueden realizar un análisis completo de cada parámetro que constituyen el software, a través de un determinado estudio, donde se configura la resistencia de materiales mediante parámetros externos a introducir tales como son: restricciones, masas, velocidades, entre otros (Esmeraldas, 2016).

La ingeniería estructural se encarga de la modelación de sistemas discretos, donde se determinan resultados mediante el esfuerzo de elementos, donde el análisis de tipo bi y tridimensional, requiere de mejores habilidades donde se demuestra que los elementos finitos permiten enfocar el problema, mediante soluciones efectivas en casos como la interacción del suelo con la estructura de modelos finitos, conocido o llamado como modelado de sólidos (García, H., 2013).

### **Dinámica Vehicular**

La dinámica vehicular es muy importante en la seguridad, el confort, el desempeño y la estabilidad del automóvil, refiriéndose a los movimientos característicos, donde se desarrolla el diseño robusto y el método de superficies de respuesta, combinando con las técnicas de modelado, de uniones cinemáticas de tipo rígido y de elementos flexibles, racionalizando el

costo computacional con menos grado de libertad, simplificando componentes relevantes (Suntaxi, V., 2018).

### **Métodos de discretización por elementos finitos**

El método de discretización, permite determinar el cálculo sobre estructuras planas o espaciales, que involucran un alto grado de complejidad, basándose en un sistema continuo, dividiéndose en un número finito de partes, mediante ciertos parámetros, resolviéndose mediante la matriz de rigidez, depende las propiedades del material y geometría, a partir de una estructura convencional y una propuesta optimizando dicho análisis (Cárdenas, Escudero y Quizhpi, 2014).

El análisis (FEA), es un método particular de los Elementos Finitos denominado como (FEM), el cual es una herramienta dominante, que maneja técnicas tradicionales para el análisis de esfuerzos, aplicándose extensamente criterios de diseño, mediante avances tecnológicos, reduciendo costos y tiempos de pruebas, donde la aplicación del diseño ayuda a resolver problemas geoméricamente complicados, en base a diferentes materiales y al modelado de las cargas de manera correcta (López, G., 2013).

Martínez y Patiño (2015), indican que el Método de Elemento Finitos (MEF), permite determinar la solución de problemas de mecánica estructural para el análisis de estructuras masivas, transferencias de calor, brindando un soporte importante antes de analizar, entender y asimilar dicho método, determinado:

- Medio Continuo, es utilizado en el modelo unificado para sólidos deformables.
- Dominio, se trata del espacio físico donde se va a analizar el problema.

- Condiciones de Contorno, permite determinar las variables conocidas como cargas, desplazamientos, temperaturas, entre otros.
- Grado de Libertad, son las incógnitas a determinar en cada nodo.
- Nodo, es el punto donde se encuentra la solución del problema.
- Incógnitas, se tratan de las variables que se quiere determinar.

Oller (2016), indica que el método de los elementos finitos (MEF), soluciona problemas ingenieriles, físicos, etc., utilizando un modelo matemático del sistema real, fácil y económico; siendo un método que maneja un diseño óptimo, con una estructura básica y tecnológica debido a los avances grandes dados en lo informático, realizando cálculos con elementos finitos, exigiendo un profundo conocimiento del material con el que se trabaja, garantizando resultados que se ajustan a la realidad, separando los sistemas de componentes individuales, en base a un modelo adecuado y definido, a través de una simplificación de ecuaciones, transformando en un modelo discreto adecuado, tal como se indica en las Figuras 1 y 2.

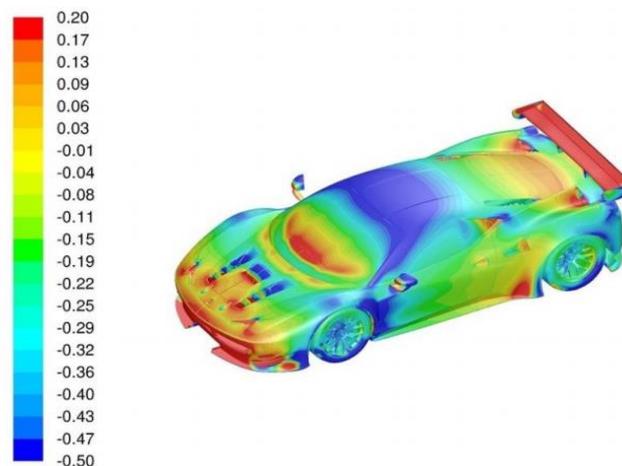
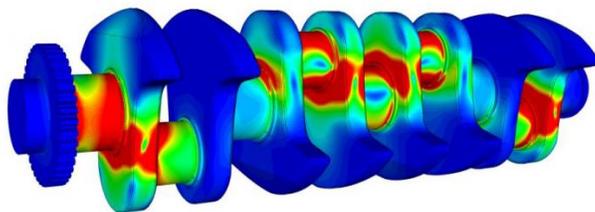


Figura 1. Resultados de Simulación en un auto de competición. Tomado de (Oller, B., 2016)



*Figura 2.* Resultados de las Tensiones en un Cigüeñal. Tomado de (Oller, B., 2016)

El método de elementos finitos, es la técnica más usada en la solución de problemas de ejercicios complejos, matemáticos o geométricos, considerando diversas variables que intervienen como las velocidades, presiones, niveles, etc.; permitiendo solventar los análisis no permanentes, detallando las condiciones de contorno, mallado y discretización, recomendando el uso de elementos triangulares (Mejía, B. y Tamayo, M.; 2015).

El comportamiento discrecional, de estructuras analizado mediante elementos finitos, en la actualidad tiene una aceptación muy positiva en la industria del transporte, debido a que mejora la estructura a través del desarrollo nuevo computacional, evitándose llevar a cabo un proceso manual que requiere mucho tiempo y dinero, pudiendo obtener aproximaciones reales durante un proceso determinado de modelación (Badea, F., 2014).

### **Modelado Computacional**

Avilés (2017), indica que el modelo computacional se realiza a través de ensayos usados por el proceso de Elementos Finitos FEA, consintiendo en ubicar determinados componentes que conforman el diseño de carrocerías, agregando condiciones como son: el tiempo, el material, el tipo de análisis, la posición de impacto, la velocidad, la dirección y los tipos de contactos; donde la posición del bus con respecto al coche impactador va en la parte del conductor junto con el Dummie, según la normativa UNECER95R02, tal como se detalla en la Figura 3.

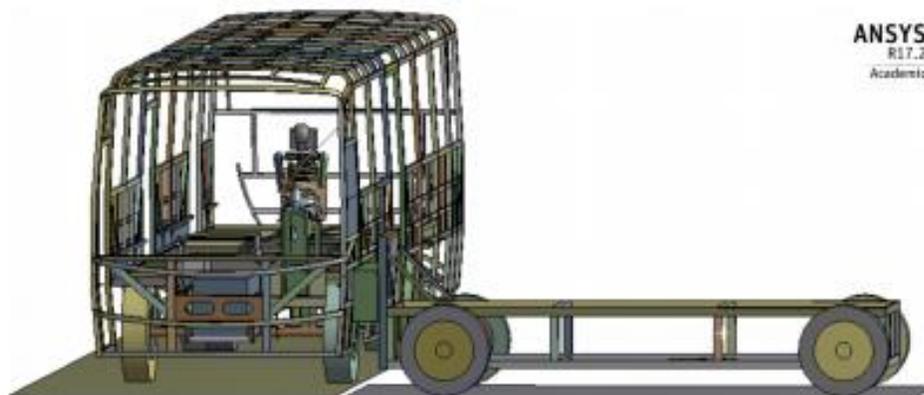


Figura 3. Modelación Computacional. Tomado de (Avilés, R., 2017)

El análisis computacional de una determinada estructura se hace en función del tipo de trabajo, procediéndose a continuación con la determinación de los desplazamientos ejecutados, con un factor de seguridad aceptable determinado, el mismo que es mayor a 1, definiéndose estados de carga básicas, bajo términos técnicos y mecánicos, obteniéndose los desplazamientos justos en base a un definitivo software, mediante la ejecución de un análisis cuasi-estático (López, L., 2015).

El modelamiento computacional se da en base a la división de un determinado vehículo, traducido en un tiempo de análisis en gran número de elementos, según el tipo de material y sección, según la función que debe cumplir, en base a elementos Shell y Beam, en base a los ejes de orientación X, Y y Z (Donaire, J., 2016).

### **Malla**

Según DASSULT SYSTEMES (2018), define al mallado tal como se muestra en la Figura 4 y 5, como la geometría en CAD de elementos tetraédricos, triangulares, de viga o armadura, la cual permite dividir en un tipo de elementos determinado, modelado de piezas finas y miembros estructurales, puesto que se integra según la geometría empleada, donde se aprovechan de

manera perfecta para el análisis, donde se puede definir el control de mallado, comprobando mediante relación de aspecto o puntos jacobianos.

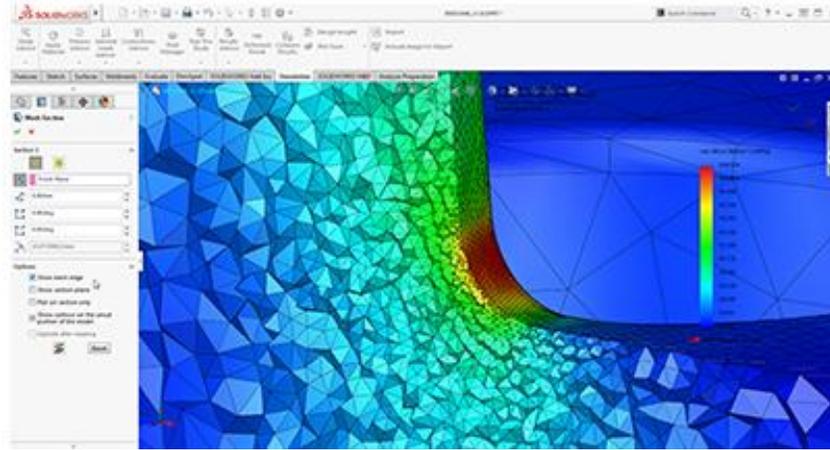


Figura 4. Modelación Computacional. Tomado de (DASSULT SYSTEMES, 2018)



Figura 5. Mallado en la estructura de un bus. Tomado de (Cháfuel, V., 2017)

El mallado se trata de un paso preponderante y de vital importancia, con valores aproximados a la realidad, consistiendo en discretizar los objetos modelados en pequeños elementos, donde se analizan mediante la resolución de ecuaciones, donde los criterios de convergencia consideran la distorsión que ocurre en zonas pequeñas de mallado, permitiendo conocer su sistema, mediante el número de nodos, con una calidad de mallado aceptable (Vacacela, W., 2016).

## **Simulación de Impactos**

Las simulaciones de impacto, son cruciales para la seguridad del conductor de auto, permitiendo a los ingenieros llevar a cabo pruebas de choques computarizadas, identificando el rendimiento elaborado por un determinado diseño, evitando lesiones y muertes, salvando vidas, en vista que se puede identificar los peligros mortales que se dan en base a soluciones innovadoras y beneficiosas descubriendo y analizando soluciones válidas para evitar dichos accidentes (Ingeniería Avanzada y Simulación, 2017).

## **Velocidad de Impacto**

La velocidad de impacto se da en función de la rapidez global originada en la estructura, donde se permite identificar una serie de características físicas de un modelo concreto, siendo el más importante el momento de inercia, originado por la velocidad angular y la distancia generada del centro de giro y el punto de impacto (Hernández, J., 2016).

Cháfuel (2017), indica que la velocidad de impacto en función a la dirección frontal, tal como se detalla en la Figura 6, se lleva a cabo según las Normas generadas por la Comisión Económica para Europa como son la ECE R94 y la R32, las mismas que dicen:

- ECE R94
  - Velocidad de Prueba, igual o mayor a 56 km/h.
  - Estado de la Estructura, deberá ser representativa
  - Tiempo Base, sería igual a 1/100 segundos con una precisión del 1%

- ECE R32

- Propulsión del impactador, asegurado a un carro.
- Disposiciones especiales cuando se usa una barrera móvil, con una velocidad de impacto de 35 a 38 km/h, con un peso total del carro y del impactador de  $1.100 \pm 20$  kg.
- Disposiciones especiales cuando se utilice un péndulo, donde el impactador debe ser de acero cuyas dimensiones son de 0.8 m de alto y 2.5 m de ancho, con una velocidad de impacto de 35 – 38 km/h.
- Estado del vehículo sometido a prueba, donde el peso no debería exceder el 10% en vacío.



Figura 6. Dirección de la Velocidad (Impacto Frontal). Tomado de (Cháfuel, V., 2017)

Según la Norma (ECE R95, 2014), especifica que la colisión lateral de la estructura del habitáculo de los vehículos, se dan de la siguiente manera:

- El ensayo se llevará a cabo al lado del conductor.

- Durante el ensayo no deberá abrirse ninguna puerta.
- El vehículo deberá estar completamente en reposo.
- La barrera deformable deberá coincidir con una tolerancia variada de  $\pm 25$  mm
- La velocidad de la barrera deformable en el instante del impacto deberá ser a una velocidad de  $50 \pm 1$  km/h.
- La masa del vehículo dada por el fabricante se deberá sumar 100 kg más el equivalente al peso de una persona.

### **Tipos de Impactos**

Valenzuela et al. (2013), indican que los tipos de impactos que se dan en un vehículo son:

#### **Impacto Frontal por Elementos Finitos**

Se trata de definir “la geometría, dimensiones y sujeciones ubicados en los puntos del chasis, en base a fuerzas que se dan durante el impacto lateral en la estructura, finalmente se determina el rango de deformación que se da durante el impacto frontal, procedente del análisis”

#### **Impacto Lateral por Elementos Finitos**

El análisis consiste en “identificar si se daría una falla en caso de impacto originado por otro vehículo, poniendo en riesgo la integridad del conductor, ubicando los puntos fijos, así como las cargas ubicados en el costado de la estructura, obteniéndose los esfuerzos generados procedentes del análisis”

## Pruebas de Choque

La Euro NCAP (2015), que por sus siglas en Ingles significan *European New Car Assessment Program* que traducido significa Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos, el cual es un organismo independiente de los fabricantes, fundados por la FIA, analiza las siguientes pruebas de comportamiento en cada automóvil:

1. Choque Frontal, trata de provocar una colisión de un vehículo en movimiento a 64 km/h, contra una barrera deformable de 1 m de ancho y 0.540 m de fondo, con un solapamiento del 40%, en el lado del chofer.
2. Prueba de Poste, esta prueba consiste en provocar el golpe contra un poste o mástil rígido a 32 km/h
3. Choque Lateral, en esta prueba se mantiene el automóvil en reposo y contra él se impacta otro vehículo a 50 km/h, que contiene una barra deformable de 1.5m de ancho y 0.5 m de fondo.

## Simulación de Prueba Antivuelco

Esta prueba evalúa la capacidad de impacto, sobre las columnas que sostienen el techo, donde se inicia dibujando la geometría de la sección a analizar, en donde para determinar el centro de gravedad se usa un software CAD, diferenciando la ubicación de dicho centro de la superestructura con la sección real, definiendo la velocidad angular con la que se impacta la súper estructura al piso, tal como se detalla en la Figura 7 (Arroba C., 2013).

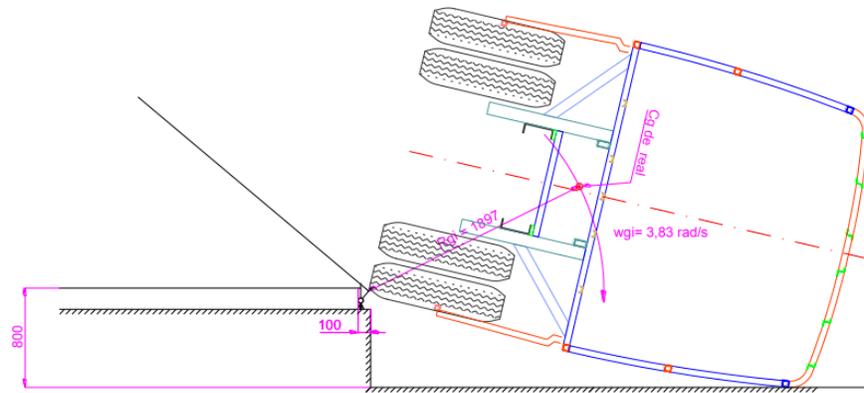


Figura 7. Velocidad Angular de Impactación. Tomado de (Arroba, C., 2013)

## MÉTODO

### Tipo de estudio

El proyecto, se enfocará a nivel cuantitativo, descriptivo y experimental debido a las propiedades mecánicas, así como las deformaciones de los componentes estructurales originados, determinadas en base al dimensionamiento y diseño de sus componentes, para lo cual se seguirá el siguiente procedimiento:

Se iniciará con la investigación de campo, donde se debe procesar la información mediante el uso de datos técnicos, dimensiones del chasis, normativas nacionales e internacionales.

El tipo de estudio es el descriptivo, ya que ayudará a describir todos los pasos que llevarán al análisis, mediante una investigación de campo y bibliográfico documental, la cual se utilizará para recopilar todo el material deseado.

Se continuará con la modelación de la geometría del chasis tubular, mediante datos de entrada, con ayuda del Sistema CAD.

Se continuará con la simulación por el MEF tal como se indica en la Figura 8, como es el pre – proceso donde se determinará los materiales usados, generando una malla para el Análisis MEF, a través de las condiciones de borde, restricciones, ubicación de cargas; dando como resultado un Análisis MEF en el *Software SolidWorks*.

Finalmente se generarán resultados, para identificar el porcentaje de deformación de la estructura tubular, dando un análisis dimensional y funcional.

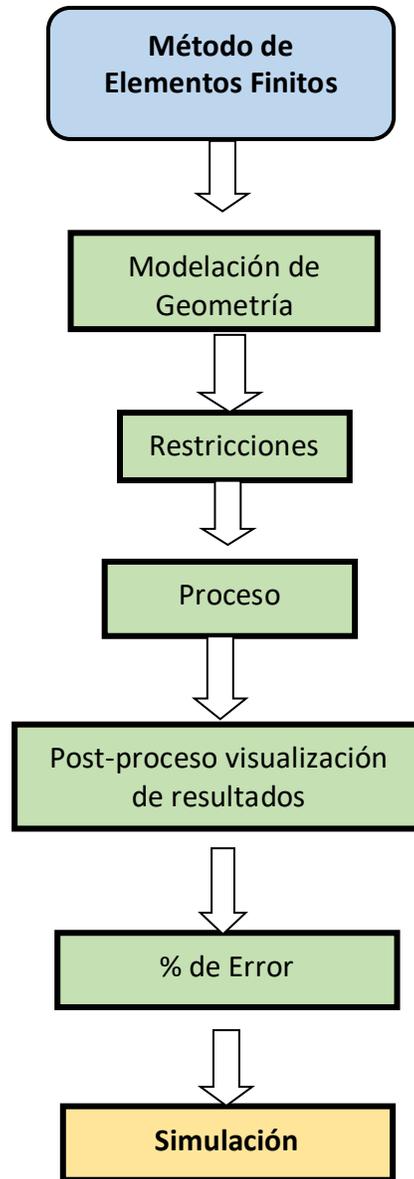


Figura 8. Procedimientos Metodológicos. Tomado de (Borja, S. & Morocho, P., 2017)

### Modalidad de investigación

La modalidad de investigación aplicada en este trabajo es el descriptivo, por tratarse de describir todos los componentes y herramientas usadas para el análisis; sustentándose en la metodología bibliográfica, por obtener información proveniente, de artículos científicos, tesis, libros, normas, entre otras., desarrollándose un marco teórico en las áreas científicas técnicas

sobre impactos laterales, contando con las especificaciones basadas en la Norma INEN 1323:2009.

La metodología a usarse es la experimental, por ser un método que controla todas las variables como son las deformaciones, desplazamientos, tensiones, factores de seguridad entre otras, dado en un impacto lateral, dándose pruebas por el Método de Elementos Finitos, consistiendo en modelar todos los componentes que forman el chasis tubular, al que se le asignarán condiciones de borde, restricciones, presiones, fuerzas, cargas, dando como resultado las variables indicadas anteriormente mediante un impacto lateral.

Los requerimientos efectuados están normados por la Norma INEN 1323:2009, en tanto que la simulación se llevará a cabo en el *Software SolidWorks*, donde el diseño de la geometría funcional, se da en base al material, dimensiones, obteniendo resultados que comparen efectos hallados.

### **Diseño de la geometría – Datos de entrada**

El dimensionamiento se da en el *Software SolidWorks* en base a las medidas definidas y establecidas tal como se detalla en la Figura 9, 10 y 11, iniciándose con la modelación de las piezas y ensambles, donde los datos de entrada, con el diseño de la estructura del chasis, se exterioriza con las líneas que representan el eje centroidal, así como los perfiles estructurales del sistema, existente en las zonas de curvaturas, donde el diagrama de líneas, se presenta como se indica en la Figura 12.

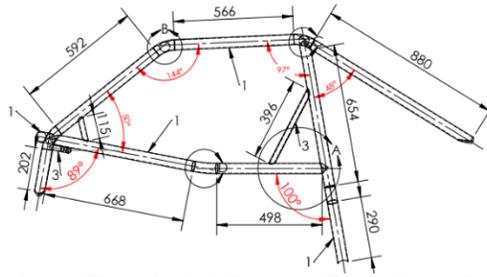


Figura 9. Cabina Buggy. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017)

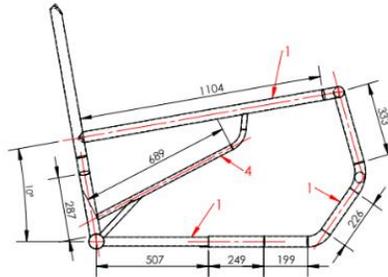


Figura 10. Parte Posterior Buggy. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017)

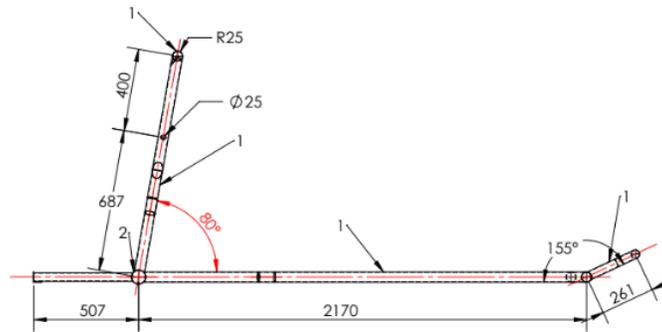


Figura 11. Parte Principal del Buggy. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017)

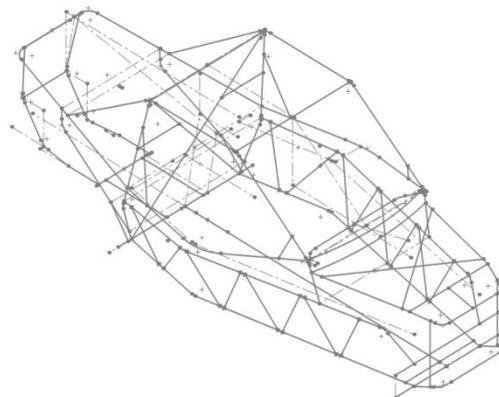
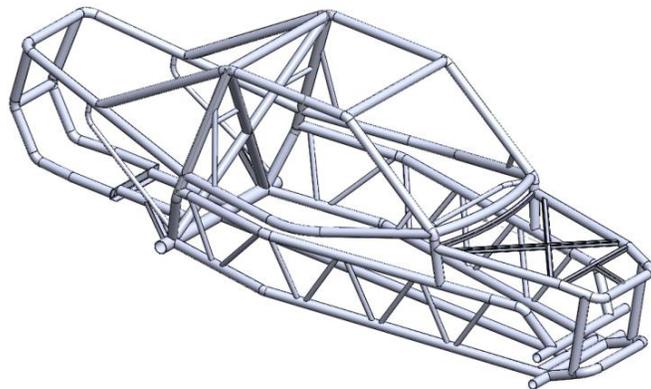


Figura 12. Modelación geométrica de la estructura. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017)

## Modelación

La modelización consiste, en obtener un chasis tubular tipo Jaula NISSAN TIIDA, lo más parecido a la estructura real, donde el diagrama de líneas, es un punto muy importante a tener en consideración, de modo que, al insertar los perfiles, esto no conlleve a un error, insertando los miembros estructurales a cada una de las líneas establecidas y definidas inicialmente, como se indica en la Figura 13.



*Figura 13.* Conjunto estructural. Tomado de. Tomado del (Instituto Tecnológico Superior Tecnoecuatoriano, 2017)

Las dimensiones externas del Chasis a analizar son:

- Largo: 3615 mm
- Ancho: 1409 mm
- Altura: 1102.5 mm

Los materiales que están constituidos la estructura real son:

- Tubo Redondo: 50x2.2 mm
- Tubo Redondo: 25.4 x 2.2 mm
- Tubo Redondo: 70 x 2.2 mm

- Angulo: 50 x 40 2.2 mm
- Tubo Estructural Cuadrado: 25.4 x 2.2 mm

Una vez definida la estructura, se asigna el material Acero Estructural ASTM A36 a cada uno de los miembros estructurales tal como se indica en la Figura 14.

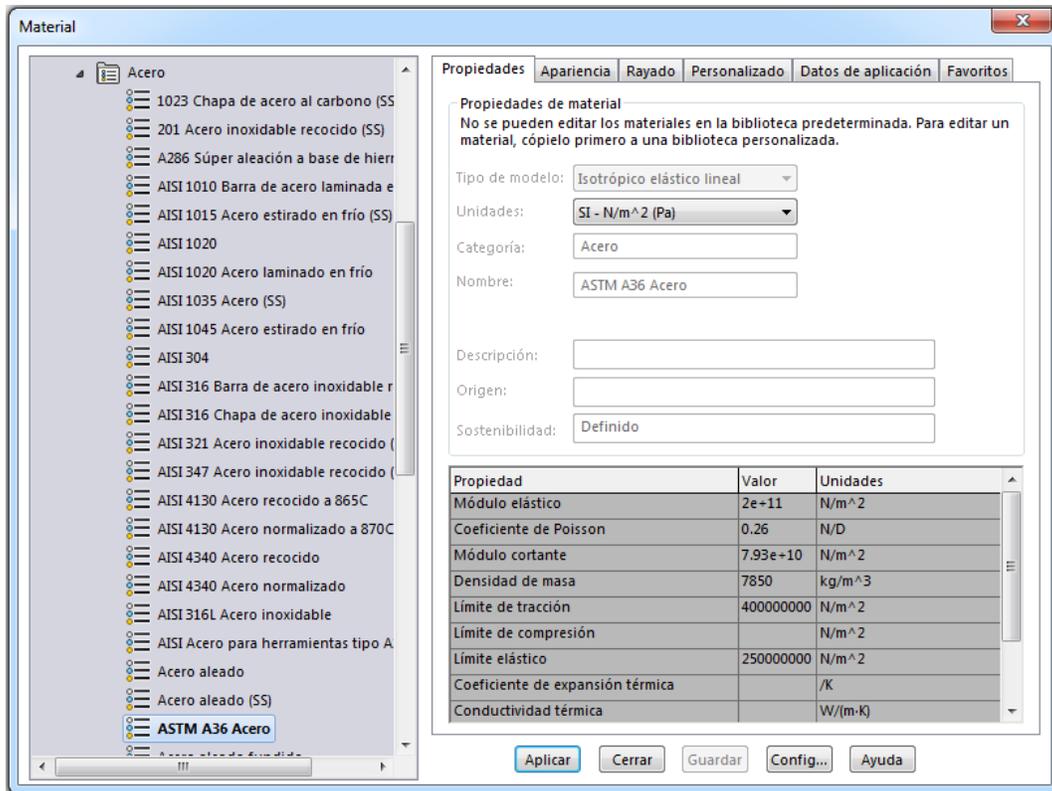


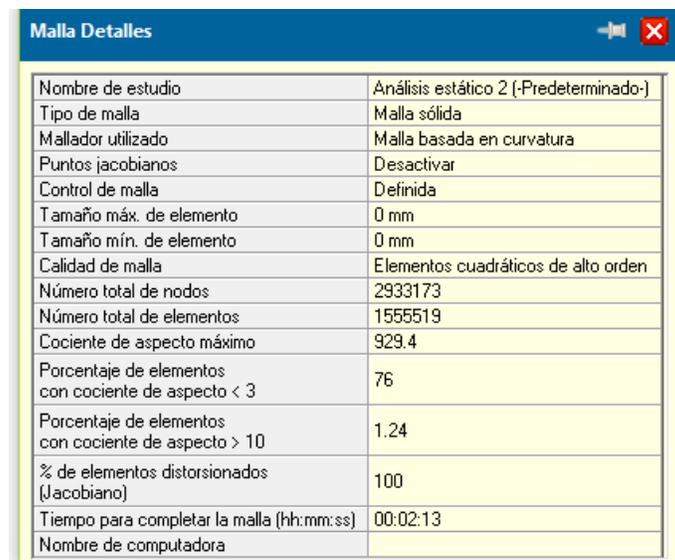
Figura 14. Material de la estructura del vehículo.

## Mallado para Análisis MEF

Una vez establecidos los esfuerzos y cargas se realiza un mallado de la estructura, como se detalla en la Figura 15, en la cual se selecciona la basada en curvatura debido a la mayor cantidad de miembros estructurales con radios pronunciados con densidad muy fina para poder mallar los espacios más pequeños.

En base a un estudio determinado de tipo estático se puede determinar si la unidad es estable, teniendo en cuenta que las uniones entre miembros estructurales deben ser compactas sin ningún tipo de abertura que interfiriera en el mallado considerando el tipo de unión como soldada, ubicando conexiones entre componentes de tipo de unión rígida, tomando en cuenta los apoyos considerados como fijos y rotación, teniendo presente seis grados de libertad simulando la condición de empotramiento perfecto sobre el chasis, es decir una geometría fija.

Una vez definida la estructura, el mallado es un paso crucial en el análisis de diseño; el software Solidworks 2018 estima un tamaño de elemento global para el modelo en 3D del chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida tomando en cuenta su volumen, área de superficie y otros detalles geométricos. El tamaño de la malla generada es: número de nodos 2'933.173 y número de elementos 1'555. 519 tal como se indica en la Figura 15.



Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 2 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	Desactivar
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	0 mm
Tamaño mín. de elemento	0 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	2933173
Número total de elementos	1555519
Cociente de aspecto máximo	929.4
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	76
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	1.24
% de elementos distorsionados (Jacobiano)	100
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:02:13
Nombre de computadora	

Figura 15. Análisis de Mallado.

### Asignación de cargas aplicadas a la estructura

El diseño del sistema estructural se da en base a nueve cargas, dos de carácter estático: carga muerta (CM) y carga viva (CV) y siete de carácter dinámico: carga de frenado (CF), carga de giro (CG), carga de resistencia al aire frontal (Raf), Carga de aceleración brusca (CAB), Carga de impacto superior (C.Imp.sup), Carga de impacto lateral (C.Imp.lat) y Carga de impacto frontal (C.Imp.front), las mismas que son distribuidas sobre toda la estructura tal como se indica a continuación:

### Cargas Estática

**Carga Muerta (CM)**, indica según la Norma INEN 1323:2009, que es el peso bruto del chasis en condiciones no operativas, como se indica en la Figura 16, que generan todos los componentes estructurales, las mismas que son fijas, con el peso propio del vehículo, tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

*Peso total para la Carga Muerta.*

Carga Muerta	Masa (kg)
Chasis tubular	135.67
Ejes	15
Transmisión	100
Carrocería	50
Llantas y freno	50
Sistema de Suspensión	40
Sistema de Dirección	35
Sistema Eléctrico	20
Pedales y Sistema de Cambios	20
Motor	120
Accesorios	30
Masa total	615.67

Para el cálculo de la carga muerta se utiliza la ecuación (1).

Dónde:

Mt= Masa total (kg)

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

$$CM = Mt * g \quad (1)$$

$$CM = 615,67 \text{ kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$CM = 6033,566 \text{ (N)}$$



Figura 16. Carga muerta - peso total del chasis.

**Carga viva (CV)**, según la Norma INEN 1323:2009, detalla que es la carga, originada por los ocupantes, como se indica en la Figura 17, estimada como distribuida uniformemente tal como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2

*Masa de ocupantes.*

Tipo de servicio	Masa de un ocupante (kg)	Masa mínima de equipaje de mano por pasajero (kg)	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas. Porta equipaje (kg)	Espacio necesario por pasajero de pie ( $m^2$ )
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (Escolar	70	-	-	Sin pasajeros de

Institucional)				pie
Inter Urbano (Interprovincial)	70	5	100*VOL	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y Turismo)	70	5	100*VOL	Sin pasajeros de pie

---

*Nota: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1323:2009*

$$M_{unitaria} = 70 \text{ (kg)} + 5 \text{ (kg) extra}$$

$$M_{total} = 75 \text{ (kg)} * 2 \text{ (número de ocupantes)}$$

$$M_{total} = 150 \text{ kg}$$

$$CV = M_{total} * g \quad (2)$$

$$CV = 150 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$CV = 1470 \text{ (N)}$$



Figura 17. Carga viva - carga por ocupación.

### Cargas dinámicas

**Carga de frenado (Cf)**, es la fuerza originada por el frenado del vehículo, según la Norma INEN 1323:2009, partiendo de parámetros establecidos de frenado a una velocidad de 80 km/h a su peso máximo, como es la originada por la masa de la estructura de 135.67 kg, más la generada por los accesorios eléctricos que es de 295 kg y la originada por los accesorios mecánicos que es de 20 kg, dando un total de: 450.67 kg.

La desaceleración recomendada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 1323:2009, y las Comunidades Europeas, se determina en base a la velocidad definida de 80 km/h, a una distancia no mayor de 75m, y el peso determinado anteriormente de 450.67 kg, donde la carga de frenado es de:

$$Cf = P_{Calculado} * D.m = P_{Calculado} * \frac{V_1^2 - V_0^2}{2S} \quad (3)$$

$$Cf = 450.67 \text{ Kg} * \frac{\left(\frac{80\text{km}}{\text{h}}\right)^2 - 0^2}{2*(75 \text{ m})} \quad Cf = 450.67 \text{ Kg} * \frac{\left(\frac{80\text{km} * \frac{1000\text{m}}{1 \text{ km}} * \frac{1\text{h}}{3600 \text{ Seg}}\right)^2 - 0^2}{2*(75 \text{ m})}$$

$$Cf = 1482,70 \text{ (N)}$$

**Carga de aceleración brusca (CAb)**, como indica la Norma INEN 1323:2009, se trata de la fuerza originada por la aceleración brusca del vehículo, donde las cargas generadas de este tipo, al igual que las de frenado, se transmiten desde los puntos de sujeción de la carrocería, hacia las uniones entre la estructura del piso y los laterales, con el techo, donde son absorbidas por la estructura en conjunto, determinadas con el mismo concepto de la carga de frenado, pero en sentido contrario, por lo que esta es:

$$C_{Ab} = -C_f = -1482,70 \text{ (N)}$$

**Carga de giro (CG)**, es la trayectoria curvilínea, a la cual se somete un vehículo como se detalla en la Figura 18, a una determinada fuerza centrífuga, la cual se manifiesta aplicada al centro de gravedad del automóvil y su dirección, siendo el radio de curvatura establecida en base a una velocidad definida mínima de 100 km/h, como la indicada en la Tabla 3.

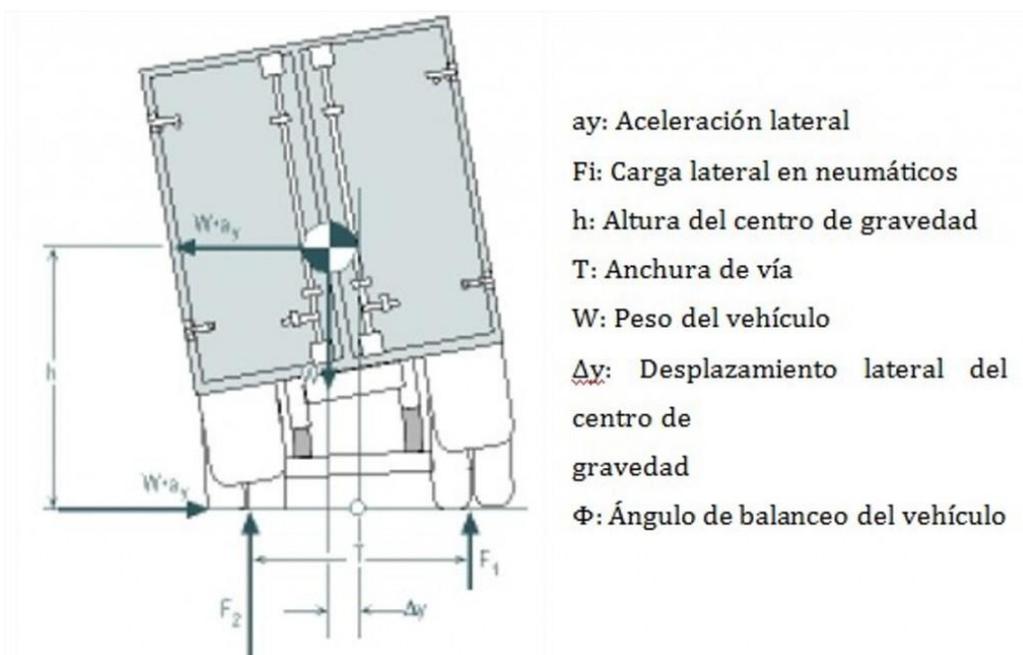


Figura 18. Carga de Giro. Tomado de (Rivera, 2016)

Tabla 3

*Velocidades y Radios Mínimos en Carretera.*

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)
80	250
85	300
90	350
95	400
<u>100</u>	<u>450</u>
105	500
110	550
115	600
120	700
125	800

130	900
135	1050
140	1250
145	1475
150	1725

*Nota: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1323:2009*

Según lo indicado la velocidad del vehículo que es de 100 km/h = 27.7 m/seg, se tiene que el radio de curvatura es de 450 m.

Por lo que la carga de giro es de:

$$Carga\ de\ Giro\ (CG) = P_{Determinado} * \frac{v^2}{r} \quad (4)$$

$$CG = 615.67\ Kg * \frac{27.7^2}{450} = 1049.77\ N$$

**Carga por resistencia del aire frontal (CRaf)**, es la fuerza que actúa sobre una determinada área, por lo que se aplicara como la fuerza actuante sobre un área relativa a la proyección del vehículo, en un plano perpendicular a su eje longitudinal:

$$Craf = \frac{C_x \times \rho \times Af \times v^2}{2} = kg \frac{m}{seg^2} \quad (5)$$

Dónde:

C<sub>x</sub>= Coeficiente de resistencia aerodinámica

ρ= Densidad del aire  $\frac{kg}{m^3}$

A<sub>f</sub>= Área correspondiente a la proyección del autobús  $m^2$

v<sup>2</sup>= Velocidad del vehículo en  $\frac{m}{seg}$

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

- Para el cálculo se tomará un valor de 100 km/h (27.7 m/seg) que vendría a ser la velocidad máxima promedio del vehículo en la vía en plano.
- Área correspondiente a la proyección del vehículo  $3.35 \text{ m}^2$ . (Valor obtenido de los planos).
- 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.

$$C_{raf} = \frac{0,4 \times 1,225 \times 3,35 \times (27,7)^2}{2}$$

$$C_{raf} = 631,34 \text{ (N)}$$

### Cargas de impacto

Las cargas de impacto se dan en base al peso de la estructura metálica, para lo cual se especifica en la Tabla 4:

Tabla 4

*Peso de estructura metálica.*

Elemento	Estructura Buggy	
	Peso total (kg)	%
Estructura tubular	135.67 (Incluye soldadura)	22.04
Accesorios eléctricos	20	3.25
Accesorios mecánicos	295	47.91
Varios	165	26.80
Sumatoria	615.67	100

Se debe tener en cuenta que los impactos que sufre un vehículo son:

- **Impacto superior (Imp- Superior)**

Para dar cumplimiento al reglamento FAU (Federación de Automovilismo Universitario), la aceleración que tiene el vehículo al producirse un choque en la parte superior del vehículo debe ser igual a dos gravedades.

Datos:

- $a = 2g$
- $M_{tet}$  = Masa total de la estructura terminada

$$F = M_{tet} \times a \quad (6)$$

$$F_{is} = 615,67 \text{ kg} \times 2 \times 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{is} = 12067,132 \text{ (N)}$$

- **Impacto lateral (Imp - Lateral).**

Refiriéndose a la normativa FAU (Federación de Automovilismo Universitario), para una colisión lateral, la norma indica que se tendrá un factor de aceleración de 4g.

Datos:

- $a = 4g$
- $M_{tet}$  = Masa total de la estructura terminada

$$F = M_{tet} \times a$$

$$F_{il} = 615,67 \text{ kg} \times 4 \times 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{il} = 24134,26 \text{ (N)}$$

- **Impacto frontal (Imp-Frontal).**

En base a la reglamentación FAU (Federación de Automovilismo Universitario), el factor de aceleración en un choque frontal es de ocho veces el peso del auto, es decir 8g.

Datos:

- Factor aceleración  $a = 8g$
- $M_{tet}$  = Masa total de la estructura terminada

$$F = M_{tet} \times a$$

$$F_{if} = 615,67 \text{ kg} \times 8 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{if} = 48268,52 \text{ (N)}$$

**La soldaduras**, se analizarán en las uniones más frecuentes utilizadas en la Estructura Rígida diseñada, basadas en el (AWS D1.3) Structural Welding Code – Sheet Steel (Código de Soldadura Estructural para Chapa de Acero).

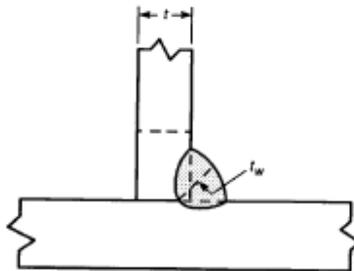


Figura 19. Soldadura de Filete. Tomado de Fuente: (AWS D1.3, 1999)

Para determinar la carga admisible que pueden soportar las soldaduras son, según la (AWS D1.3, 1999) se utilizará:

$$P = 0.3(t)(L)Fu, \quad \text{for } \frac{L}{t} > 25$$

Dónde:

- P = Carga Admisible de Soldadura (lb)
- t = Espesor de la Placa (in) = 2.2 mm = 0.0866 in.
- L = Longitud de la Soldadura (in) = 6.2 in.
- Fu = Carga Última a Tensión del A500  $\left(\frac{lb}{pulg.^2}\right) = 4\,080 \frac{Kg}{cm^2} = 58\, Kpsi.$

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

$$P = 0.3 \times 0.0866\, in \times (6.2\, in) \times 58000 \frac{lb}{in^2} = 9\,343.93\, lb = 4\,238.34\, kg$$

La Carga Máxima a soportar es = 615.67 kg

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

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

$$\frac{L}{t} = \frac{6.2\, in}{0.0866\, in} = 71.6 > 25$$

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

### Combinación de Cargas

Siguiendo la recomendación de la Norma (NTE INEN 1323:2009), se indica que para diseñar considerando los factores de seguridad por resistencia de materiales, se debe seguir el Método establecido como es el LRFD (*Load Resistance Factor Design*), donde las combinaciones de cargas 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.  $1.2 M + 1.5 A + 0.5 V$
7.  $0.9 M - 1.3 Raf$
8.  $0.9 M + 1.3 Raf$

### Población y Muestra

Como es un estudio aplicativo a una determinada estructura, la población se da por una unidad experimental en base a replicas definidas como muestras a desarrollar (Lozano, 2011).

Por lo que: por réplica

$$n = \frac{W - W^2 \times Z_{\beta} + 1,4 \times Z_{\alpha}^2}{W^2} \quad (7)$$

Dónde:

n = Número Mínimo de Muestras

$Z_{\alpha}$  = Valor correspondiente al nivel de confianza = 1.96 Tabla 5.

$Z_{\beta}$  = Valor correspondiente al poder estadístico = 0.842 Tabla 6.

W = Rendimiento Mínimo Esperado = 0.95. Tabla 7

Tabla 5

Valor  $Z_{\alpha}$  para diferentes Niveles de Confianza.

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

*Nota: Los valores de  $Z_{\alpha}$  son tomados de acuerdo al nivel de confianza requerido para la selección de la muestra (Lozano, 2011)*

Tabla 6

Valor  $Z_{\beta}$  para diferentes Niveles de Poder Estadístico.

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

*Nota: Los valores de  $Z_{\beta}$  son tomados de acuerdo al nivel de poder estadístico requerido para la selección de la muestra (Lozano, 2011)*

Tabla 7

Número Mínimo de Observaciones.

Número mínimo de observaciones		
Diferencia mínima observable,	N. Confianza del 95% 1- $\alpha$ = 0,95	N. Confianza del 99% 1- $\alpha$ = 0,99
W (Valor Porcentual)		
0,05	245	376
0,1	116	179

0,2	52	80
0,3	30	47
0,4	20	30
0,5	13	20
0,6	9	14
0,7	6	9
0,8	4	5
0,9	3	3
1,0	3	3

*Nota: Los valores de W son tomados de acuerdo al rendimiento mínimo esperado para la selección de la muestra (Lozano, 2011)*

Por lo que el número mínimo de muestras es:

$$n = \frac{0.95 - (0.95)^2 * (0.842) + 1.4 * (1.96)^2}{(0.95)^2}$$

$$n = 6.15 \approx 7 \text{ muestras experimentales}$$

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

Los instrumentos de investigación a utilizar son el registro de resultados y observación, así como el análisis de contenido, mediante técnicas de observación y experimentación, dadas por las muestras determinadas anteriormente.

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

Las muestras originadas en la fase de experimentación, cumple con los requerimientos básicos, en vista de que los valores de error varían del 5 al 20%, evitando que este no supere el 5% de desconfianza, con lo que con las siete muestras se asegura, que se genere hasta el 95% de confianza de los resultados obtenidos, evitando obtener datos estadísticos erróneos, asegurándose de esta manera la validez de dichos resultados.

## Materiales

Los parámetros a evaluar, en el análisis estructural de un chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida sometido a una prueba de impacto lateral, basado en una simulación por el método de elementos finitos son:

- Tipo de Materiales
- Desplazamientos, originados por el Método MEF
- Deformaciones, generado por el Método MEF
- Tensiones, dado por el Método MEF.

## Diseño e Implementación

En base a la estructura originada como se indica en la Figura 20 y al dimensionamiento detallado anteriormente, se ha obtenido los siguientes parámetros estipulados en las Tablas 8 y 9, son.



Figura 20. Buggy ensamblado sistemas Automotrices

Tabla 8

*Cargas Estáticas.*

Designación	Cargas Estáticas	Valor
CM	Carga Muerta	6033,56 (N)
CV	Carga Viva	1470 (N)

Tabla 9

*Cargas Dinámicas.*

Designación	Cargas Dinámicas	Valor
CF	Carga de frenado	1482.8 (N)
CAb	Cargas de aceleración brusca	(-)1482.8 (N)
CRaf	Carga por resistencia al aire frontal	631,34 (N)
CG	Cargas de giro	1049,77 (N)
Imp. Lat.	Impacto lateral	24134,26 (N)

**Asignación de cargas**

Para la asignación de cargas en el gestor de diseño, se ha empleado el método de diseño LRFD (*Load Resistance Factor Design*), descrito anteriormente, el cual consiste en:

$$1,2 M + 0,5 V + 0,5 F + 1,3 Raf$$

El cual detalla que:

$$1,2M = 1,2 \times CM = 1,2 \times 6033,56 (N) = 7240,27 (N)$$

$$0,5V = 0,5 \times CV = 0,5 \times 1470 (N) = 735 (N)$$

$$0,5F = 0,5 \times Cf = 0,5 \times 1482,7(N) = 741,4 (N)$$

$$1,3Raf = 1,3 \times CRaf = 1,3 \times 631,34(N) = 820,74(N)$$

Cargas aplicadas en el software Solidworks 2018, para validar el diseño. Las mismas que se encuentran distribuidas en la estructura tubular como son carga viva, carga muerta, carga de frenado y cargas por resistencia al aire frontal.

### **Factor de Seguridad**

El término factor de diseño, es una medida de seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. Entonces, el esfuerzo real que se desarrolla en el componente debe ser menor que el esfuerzo de diseño las consideraciones a tomar para especificar el factor de seguridad son:

- Naturaleza de las cargas.
- Análisis de esfuerzos.
- Propiedades del material.
- Grado de confianza.

El factor de seguridad que deben tener los materiales dúctiles según Rober Mott son:

Tabla 10

*Factor de diseño, aplicación en materiales dúctiles.*

Factor	Aplicación
1.25 a 2.0.	El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2.0 a 2.5.	Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

---

2.5 a 4.0. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos a al ambiente.

4.0 o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.

---

*Nota: Factor de diseño, medida de seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga (Robert L. Mott, 2006)*

El diseño del vehículo tubular Nissan Tiida se valora mediante el factor de seguridad el mismo que mediante el software Solidworks 2018 se analizara dicho factor ya que se aplica cargas estáticas y dinámicas.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, bajo el método propuesto de diseño LRFD (*Load Resistance Factor Design*) y descrito anteriormente de los diferentes materiales utilizados, para posteriormente seleccionar el material más adecuado para el Diseño del Chasis:

### Materiales:

#### Acero ASTM A36.

Con el Acero ASTM A36:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 21, con una tensión mayor originada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.213e+007$  ( $N/m^2$ ).

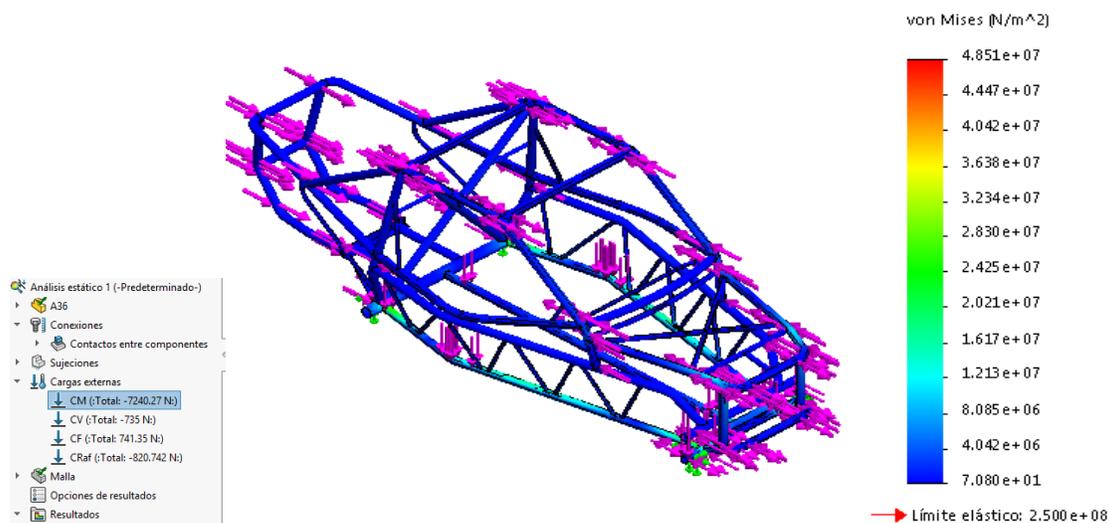


Figura 21. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en ASTM A36.

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 1.669 mm, tal como se indica en la Figura 22.

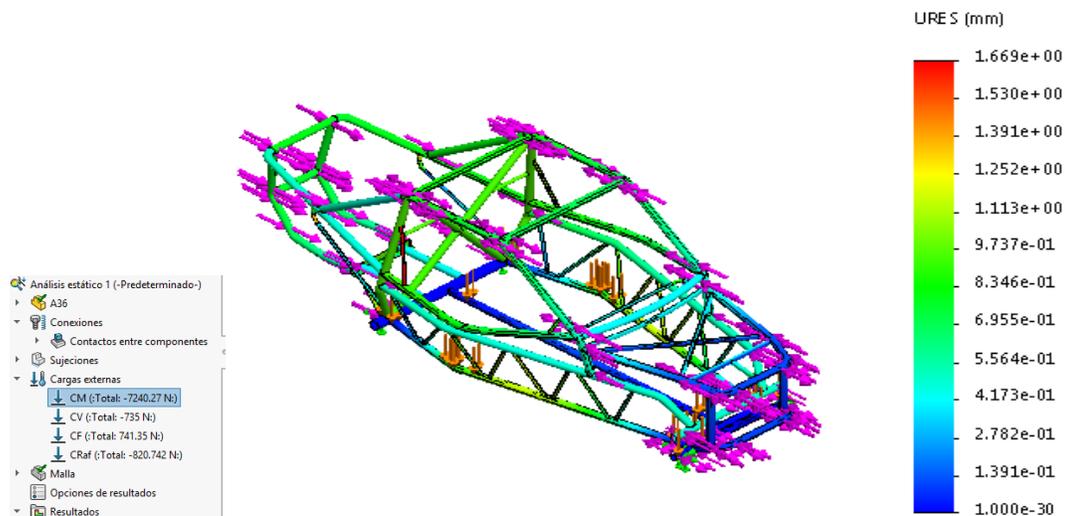


Figura 22. Análisis de Desplazamiento en ASTM A36.

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 4.6, como se indica en la Figura 23.

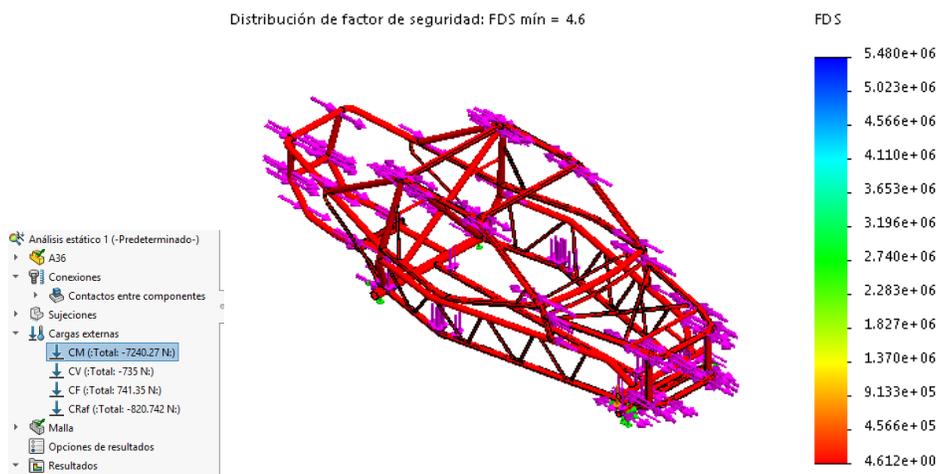


Figura 23. Análisis de Factor de Seguridad en ASTM A36.

### Aluminio con Calidad 6061

Con el Aluminio con calidad 6061:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 24, con una tensión mayor generada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.151e+007$  ( $N/m^2$ ).

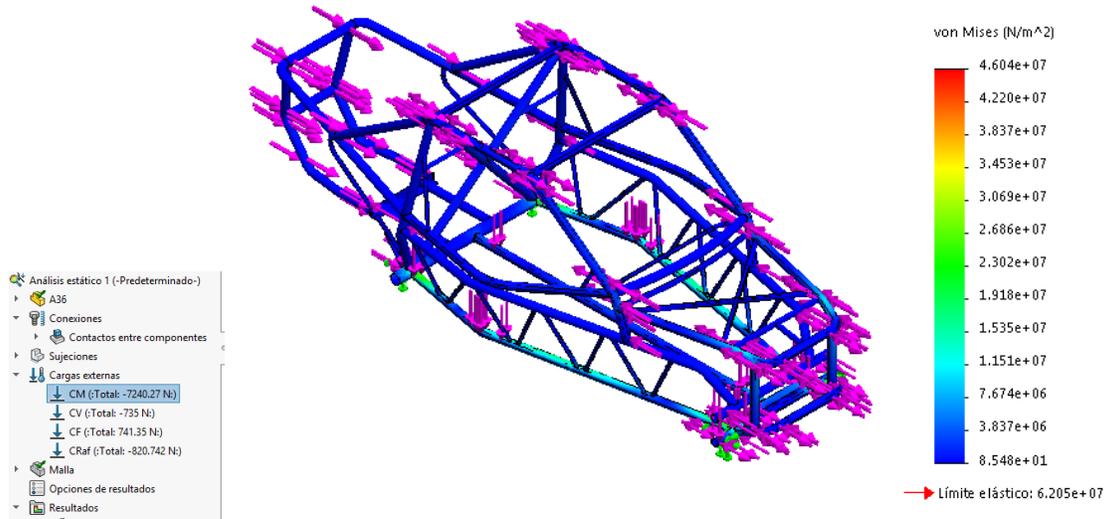


Figura 24. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Aluminio con Calidad 6061

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 4.775 mm, tal como se indica en la Figura 25.

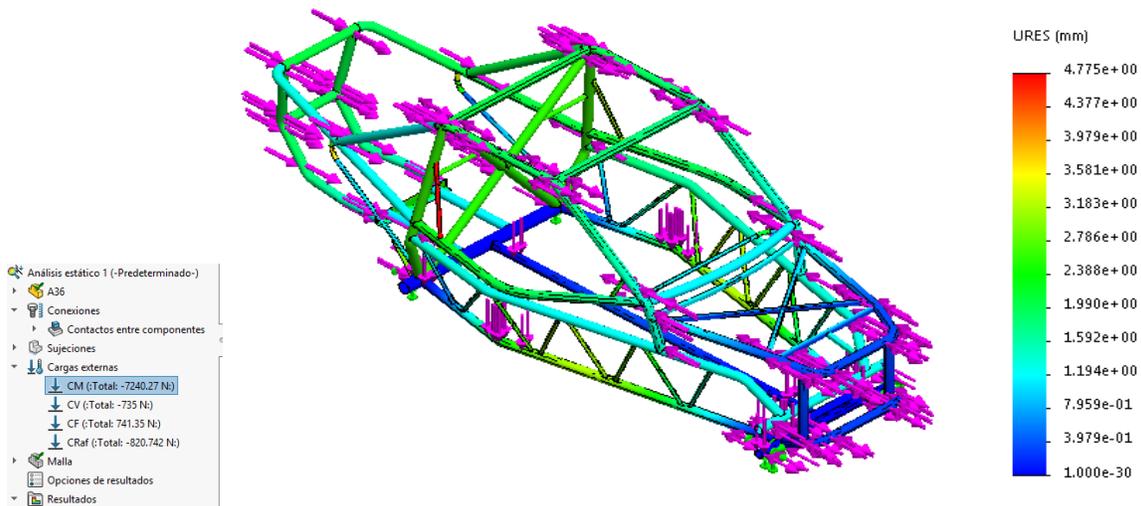


Figura 25. Análisis de Desplazamiento en Aluminio con Calidad 6061.

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 1.1, como se indica en la Figura 26.

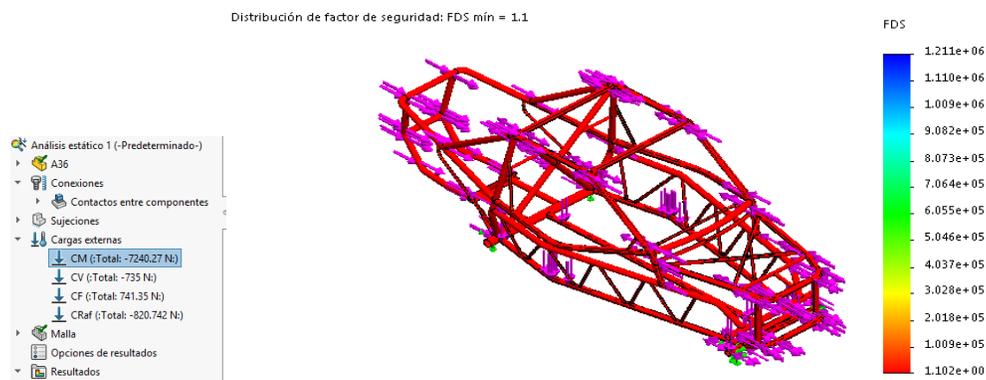


Figura 26. Análisis de Factor de Seguridad en Aluminio con Calidad 6061

## Acero AISI 304

Con el Acero AISI 304:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 27, con una tensión mayor originada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.191\text{e}+007$  ( $\text{N}/\text{m}^2$ ).

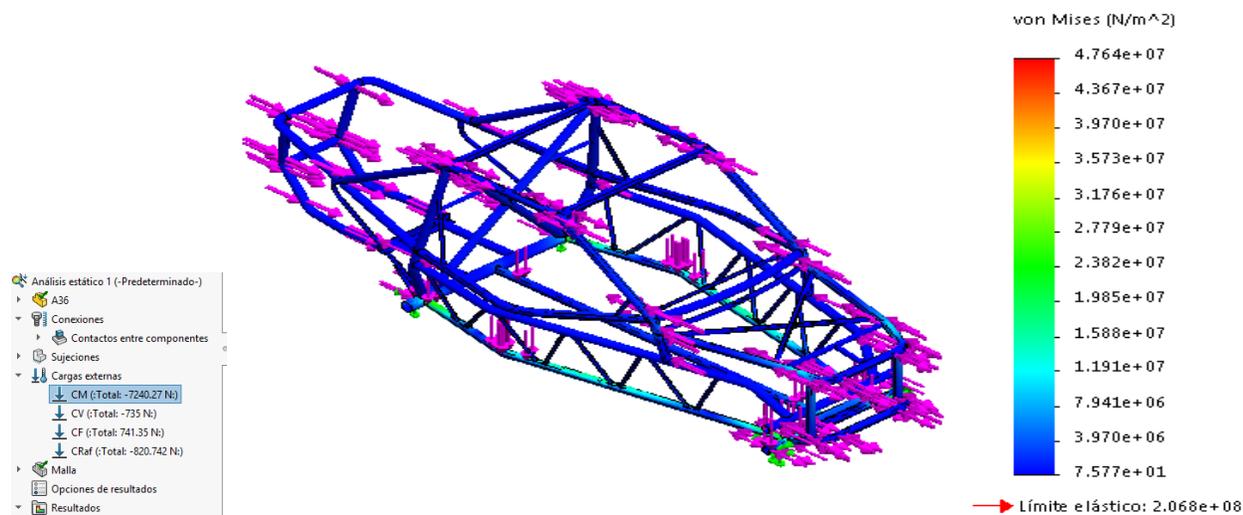


Figura 27. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 304

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 1.757 mm, tal como se indica en la Figura 28.

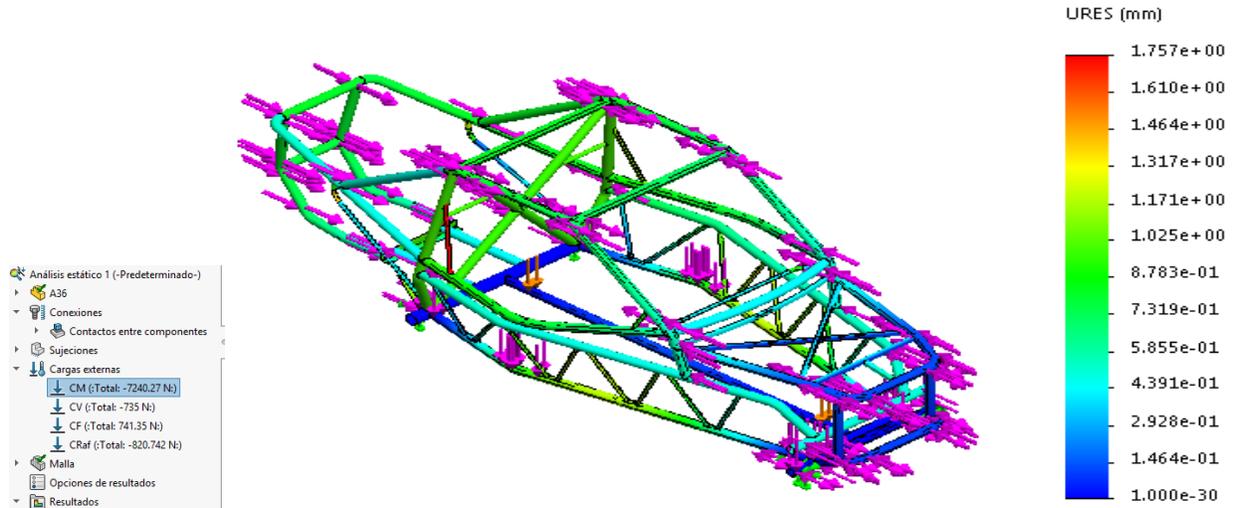


Figura 28. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 304

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 3.8, como se indica en la Figura 29.

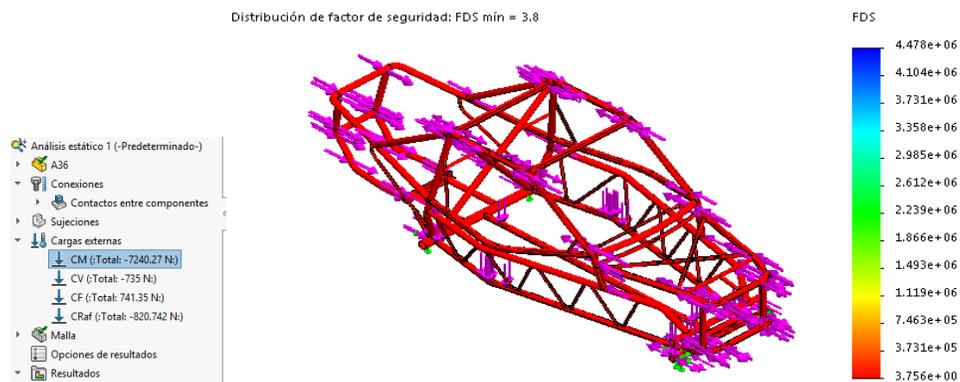


Figura 29. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 304

## Acero AISI 316

Con el Acero AISI 316:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 30, con una tensión mayor originada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.209e+007$  ( $N/m^2$ ).

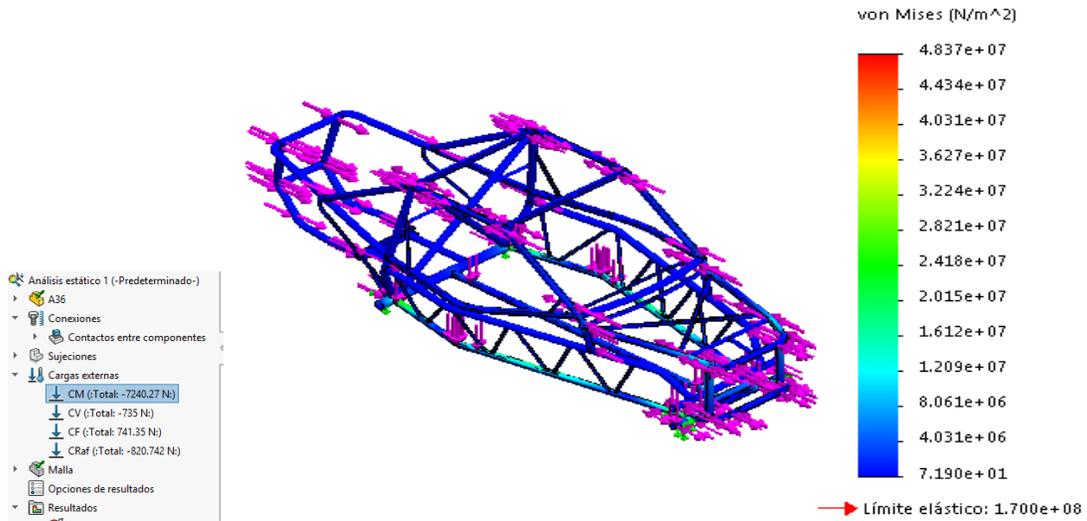


Figura 30. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 316

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 1.67 mm, tal como se indica en la Figura 31.

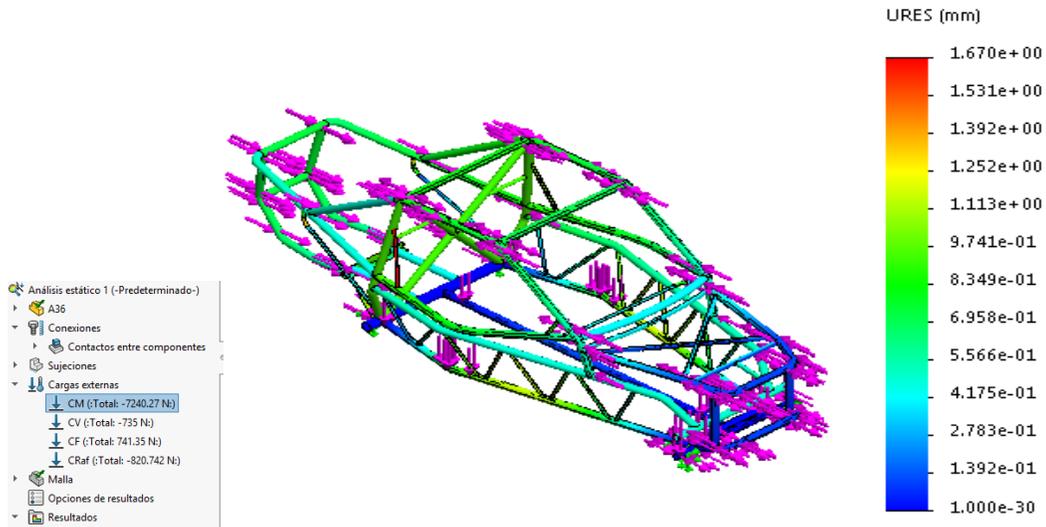
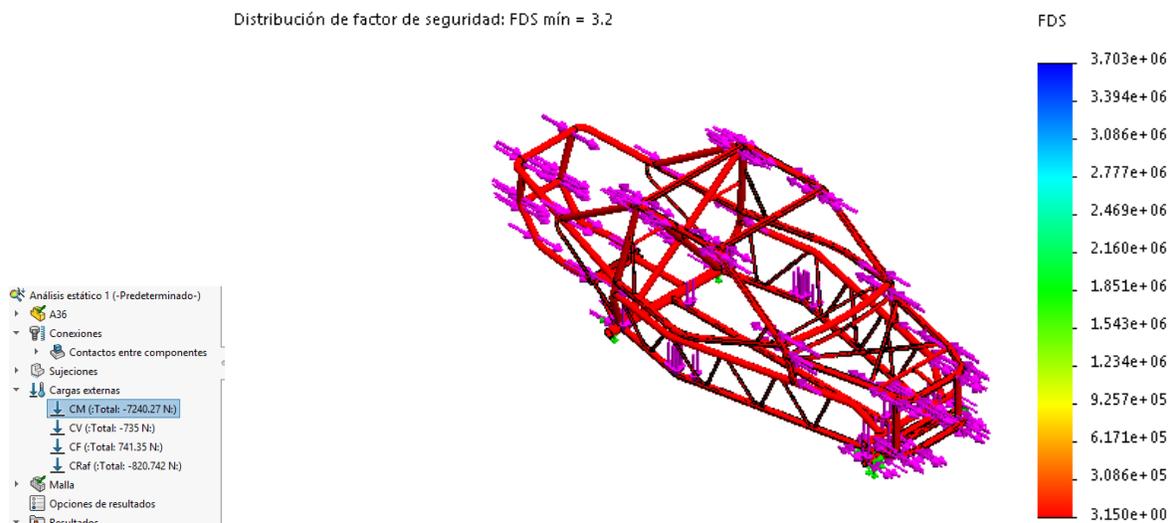


Figura 31. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 316

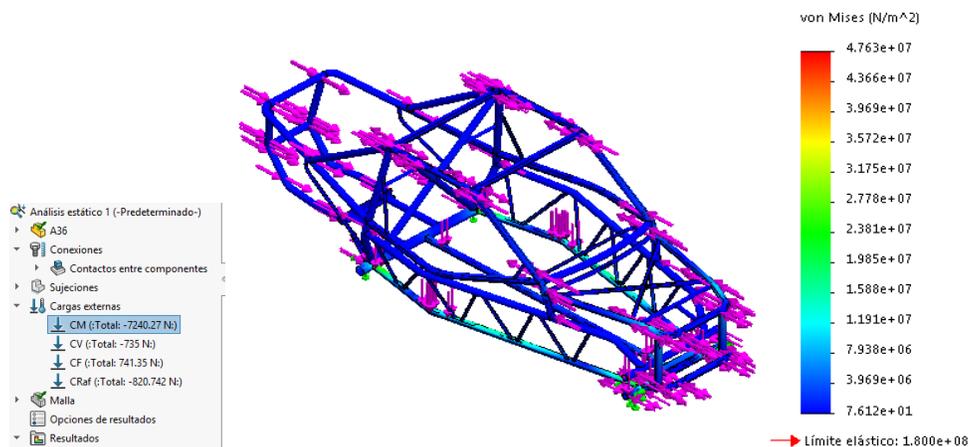
- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 3.2, como se indica en la Figura 32.



## Acero AISI 1010

Con el Acero AISI 1010:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 33, con una tensión mayor originada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.191e+007$  ( $N/m^2$ ).



- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 1.669 mm, tal como se indica en la Figura 34.

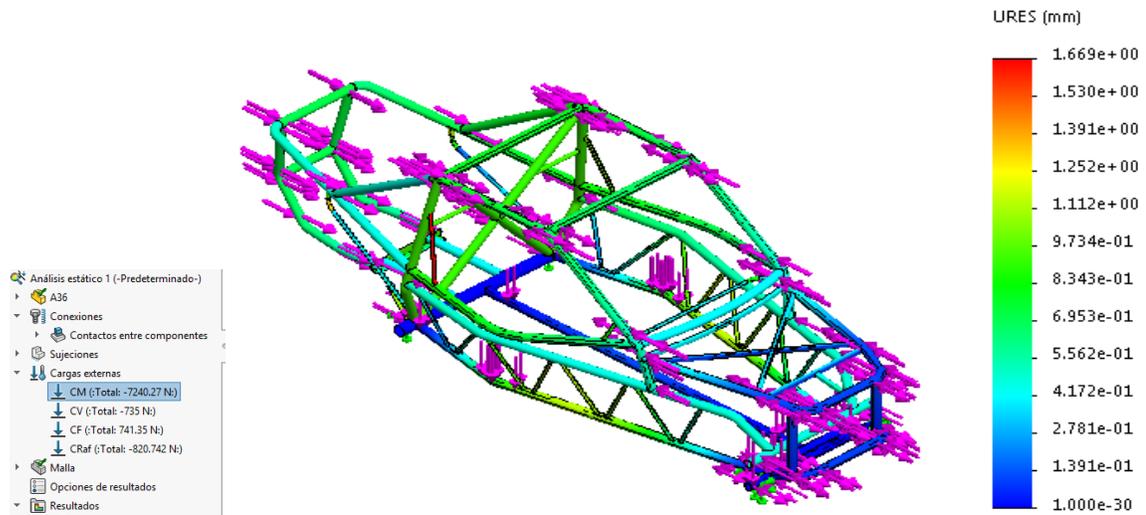


Figura 34. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1010

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 3.3, como se indica en la Figura 35.

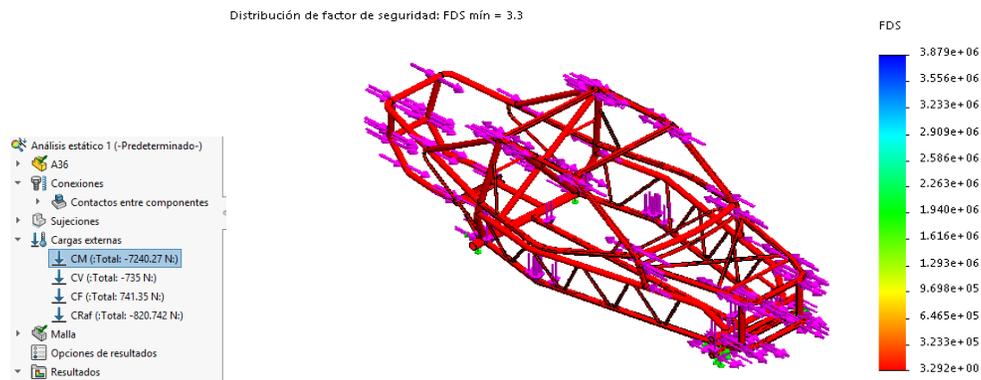


Figura 35. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1010

### Acero AISI 1015.

Con el Acero AISI 1015:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 36, con una tensión mayor originada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.191e+007$  ( $N/m^2$ ).

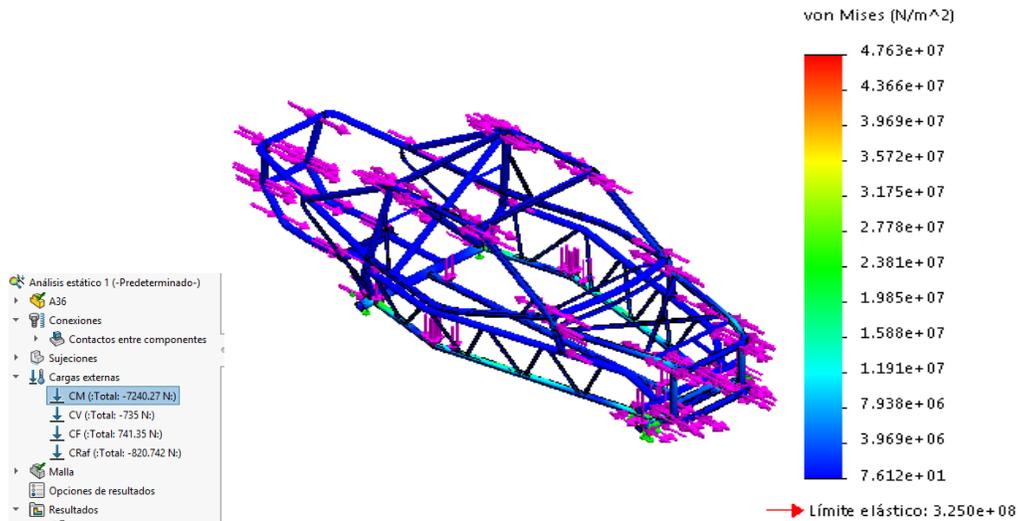


Figura 36. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 1015

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 1.628 mm, tal como se indica en la Figura 37.

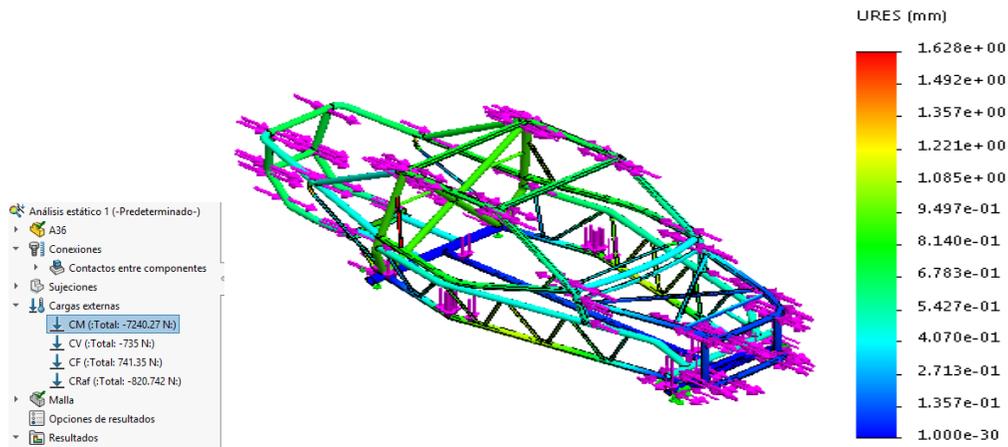


Figura 37. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1015

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 4.5, como se indica en la Figura 38.

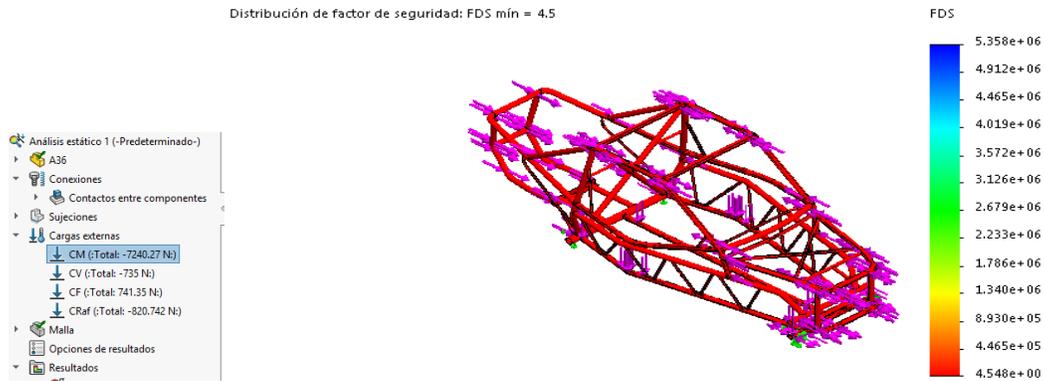


Figura 38. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1015

### Acero AISI 1018.

Con el Acero AISI 1018:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 39, con una tensión mayor originada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.37e+007$  ( $N/m^2$ ).

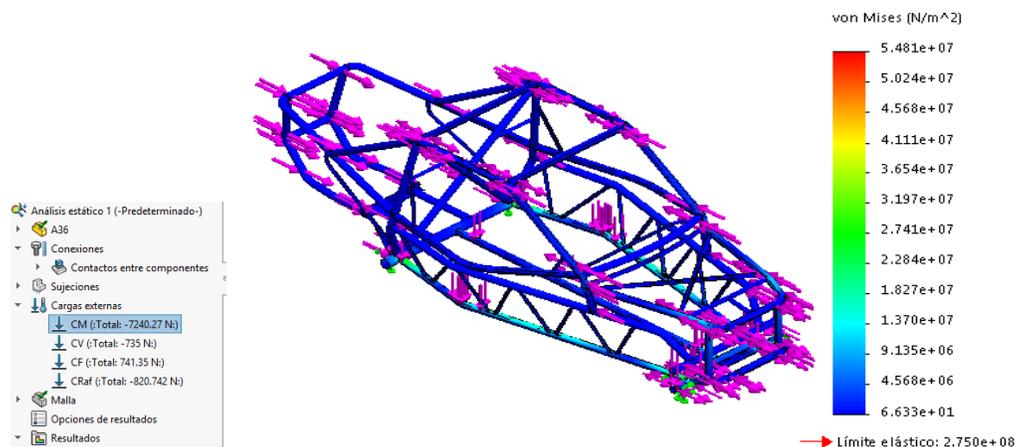


Figura 39. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 1018

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 1.417 mm, tal como se indica en la Figura 40.

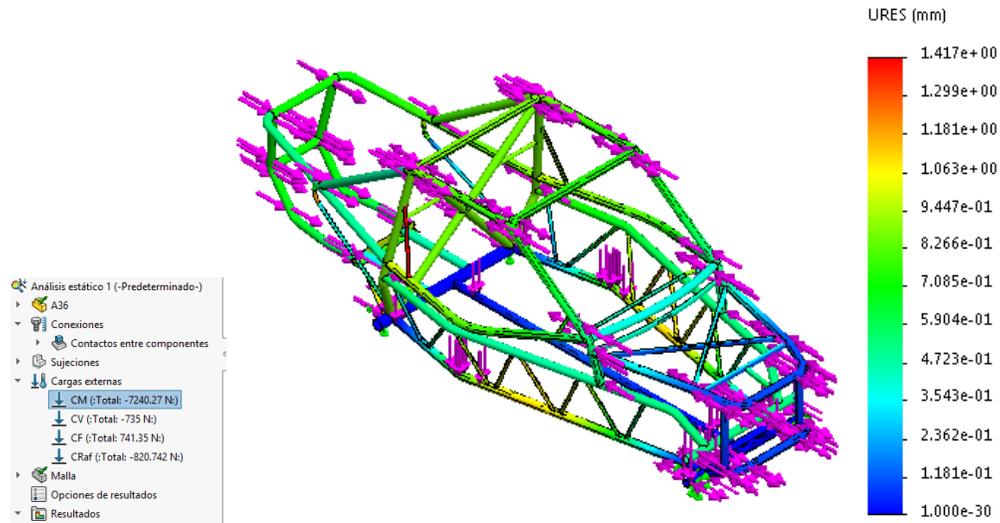


Figura 40. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1018

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 4.043, como se indica en la Figura 41.

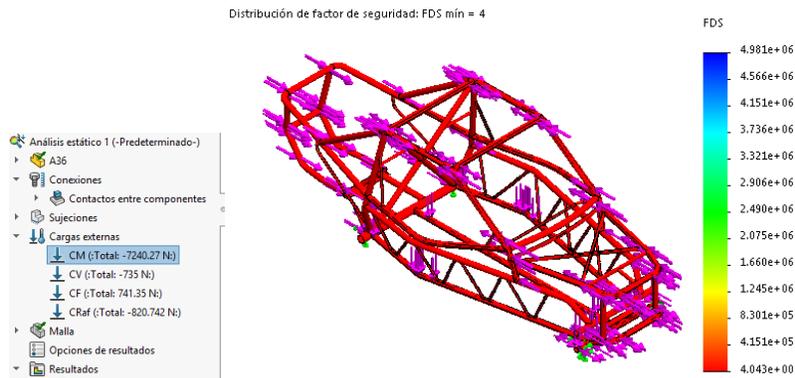


Figura 41. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1018

### Acero AISI 1020.

Con el Acero AISI 1020:

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 42, con una tensión mayor originada en las partes laterales, inferiores del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $1.191e+007$  ( $N/m^2$ ).

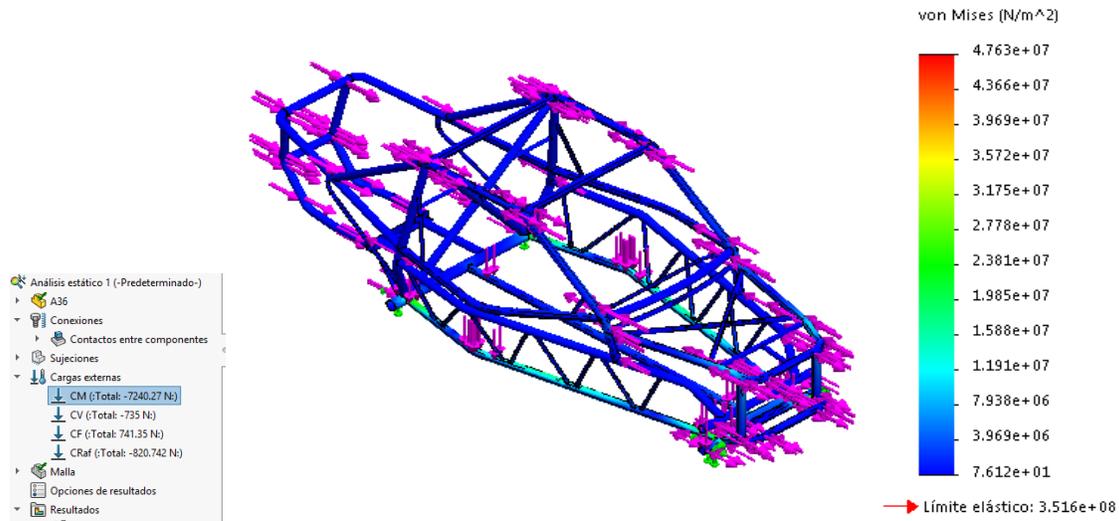


Figura 42. Análisis de Tensiones según la escala de VON Mises en Acero AISI 1020.

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 1.669 mm, tal como se indica en la Figura 43.

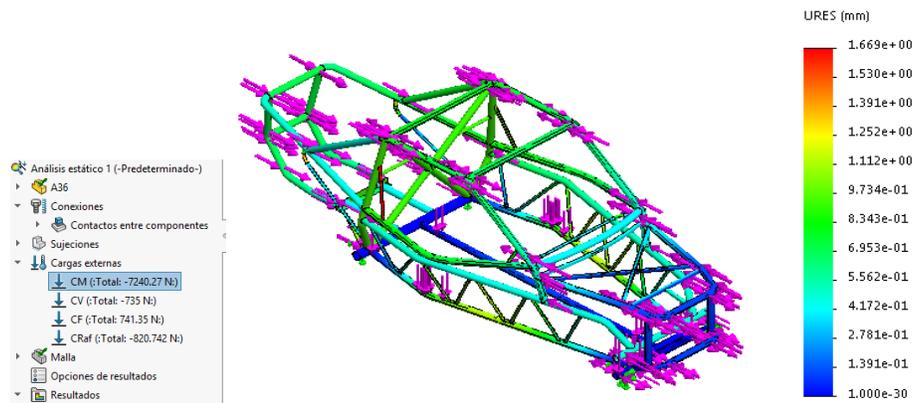


Figura 43. Análisis de Desplazamiento en Acero AISI 1020

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 4.598, como se indica en la Figura 44.

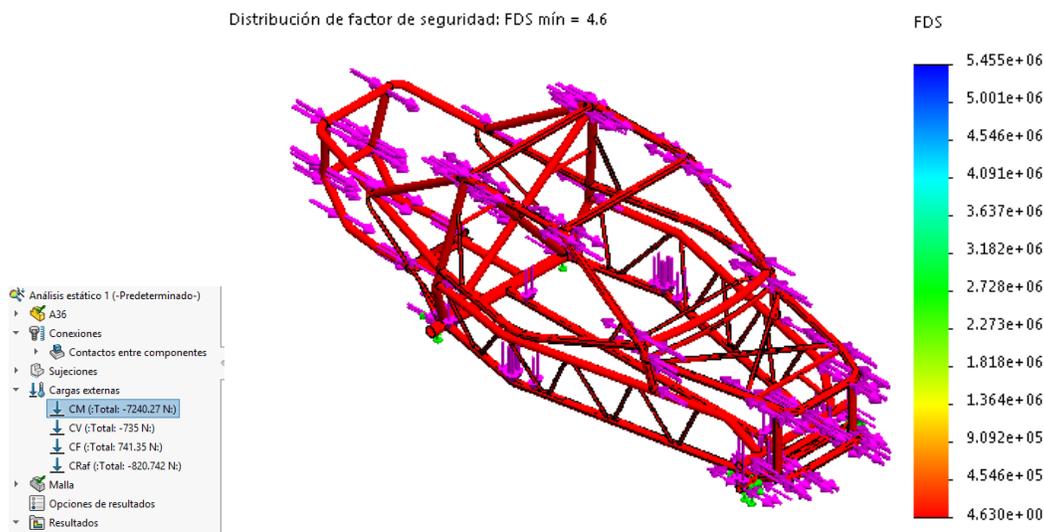


Figura 44. Análisis de Factor de Seguridad en Acero AISI 1020

Se debe tener presente que el diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, según Robert L. Mott, recomienda utilizar un factor de seguridad mayor a 4, por lo que a continuación en la Tabla 11, se resume los análisis obtenidos de la estructura tubular con diferentes materiales dúctiles.

Tabla 11

*Resumen de Análisis.*

Material	Tensión ( $N/m^2$ )	Desplazamiento (mm)	Factor de Seguridad	Válido (Si o No)
ASTM A36	1.213e+007	1.669	4.6	Si
Aluminio con Calidad 6061	1.151e+007	4.775	1.2	No
AISI 304	1.191e+007	1.757	3.8	No
AISI 316	1.209e+007	1.67	3.2	No
AISI 1010	1.191e+007	1.669	3.2	No
AISI 1015	1.191e+007	1.628	4.5	Si
AISI 1018	1.37e+007	1.417	4.043	Si

---

AISI 1020	1.191e+007	1.669	4.598	Si
-----------	------------	-------	-------	----

---

Según el resumen de análisis dados se concluye que los materiales dúctiles, aceptables por obtener un Factor de Seguridad Válido son:

- Acero ASTM A36, con un Factor de Seguridad de 4.6
- Acero AISI 1015, con un Factor de Seguridad de 4.5
- Acero AISI 1018, con un Factor de Seguridad de 4.043
- Acero AISI 1020, con un Factor de Seguridad de 4.598

### **Criterios de selección**

El Material, será elegido en base:

1. Al mayor factor de seguridad originado.
2. A la resistencia del material a condiciones excesivas de desgaste, generados.
3. A la disponibilidad en el mercado local, provincial y nacional, en caso que toque cambiar alguna parte, o dar mantenimiento a la estructura.
4. Al costo del material, el mismo que deberá ser económico.

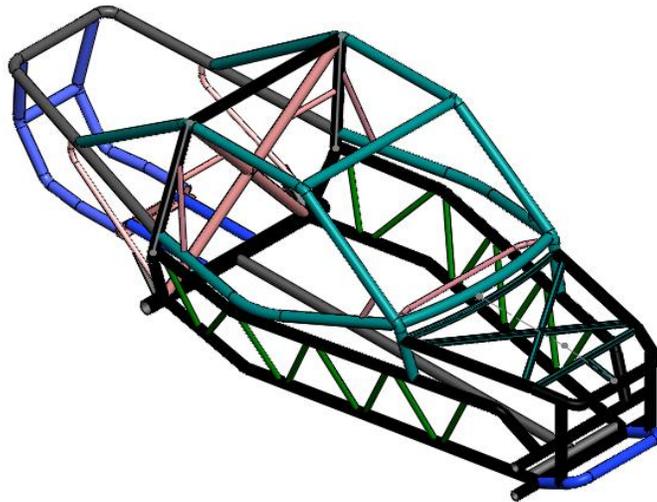
### **Selección**

- En base a estos criterios de selección se escoge el Acero ASTM A36, con un Factor de Seguridad de 4.6, el mismo que es el material que posee el factor más alto, de los materiales dúctiles planteados y analizados, con una buena resistencia al desgaste, disponible en el Mercado Local, Provincial y Nacional.

## Simulación

En base al prediseño definido inicialmente, al material seleccionado que es ASTM A36, se determinan las fuerzas de impacto lateral, de la siguiente manera:

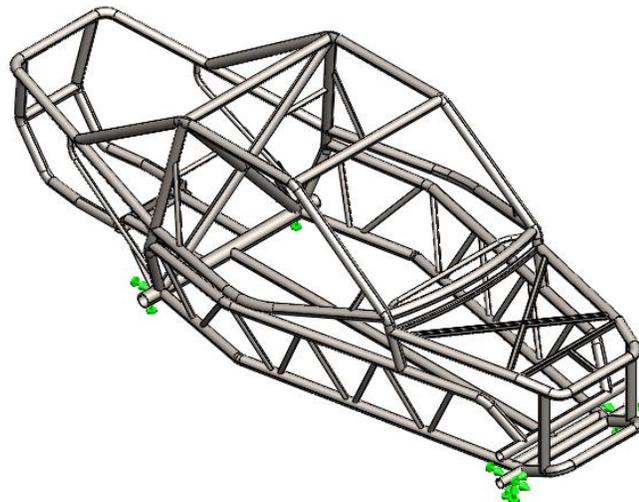
Se inicia modelando en 3D el sistema a analizar.



*Figura 45.* Modelado del chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida

Se continúa seleccionando el material el mismo que según lo especificado es ASTM A36.

Se continúa con la colocación de las sujeciones en la estructura.



*Figura 46.* Ubicación de las restricciones en el chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida

Se prosigue con la ubicación de la fuerza establecida en un Impacto lateral (Imp - Lateral) refiriéndose a la normativa (Federación de Automovilismo Universitario) FAU, para una colisión lateral, se tendrá un factor de aceleración de 4g. En el gestor de diseño se ingresa en cargas externas  $F_{il} = 24\,134,26$  (N).

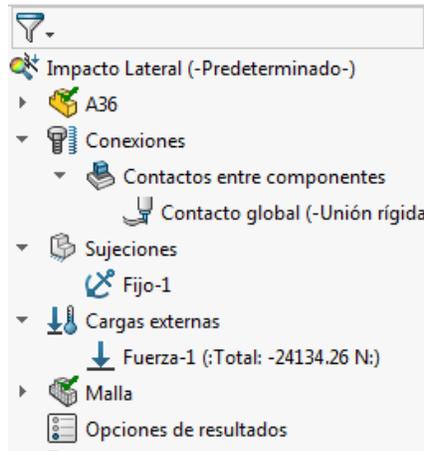


Figura 47. Gestor de Diseño

Se continúa con el mallado de la estructura tubular tipo jaula Nissan Tiida

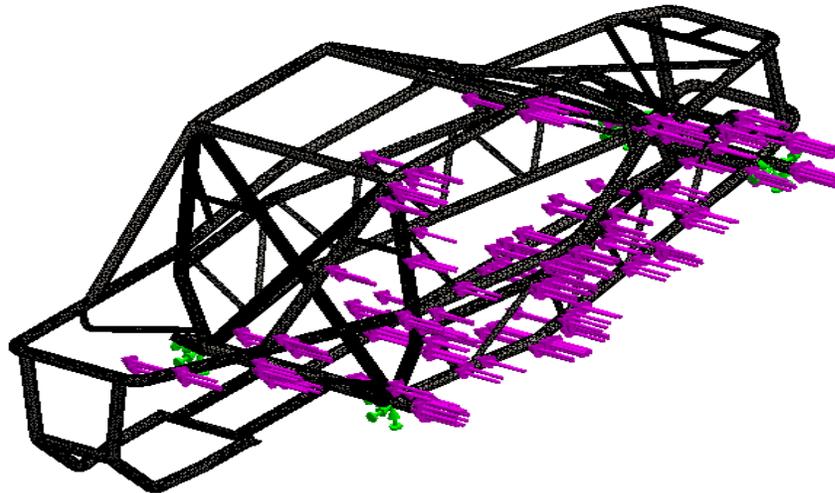


Figura 48. Mallado del chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida

Para posteriormente obtener como resultados aplicada lateralmente.

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 49, con una tensión mayor originada en todo el lado lateral de la estructura del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $2.640e+007$  (N/m<sup>2</sup>).

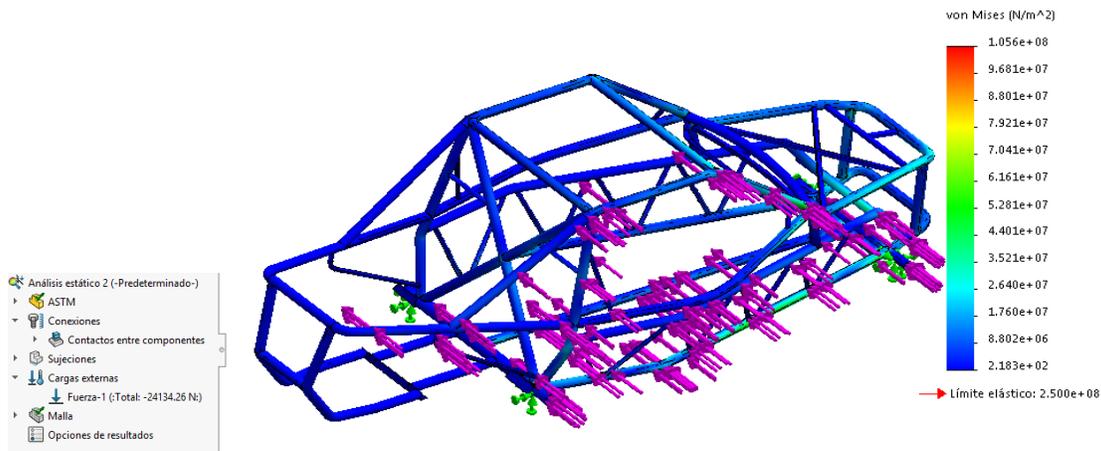


Figura 49. Análisis de Impacto Lateral de Tensiones según la escala de VON Mises

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 11.28 mm, tal como se indica en la Figura 50.

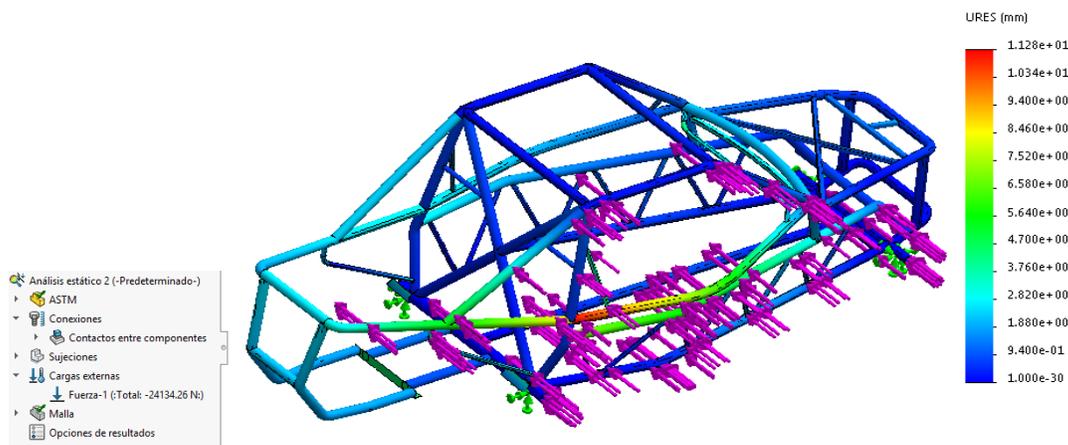


Figura 50. Análisis de Impacto Lateral de Desplazamiento

- **Factor de seguridad**, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 1.748, como se indica en la Figura 51.

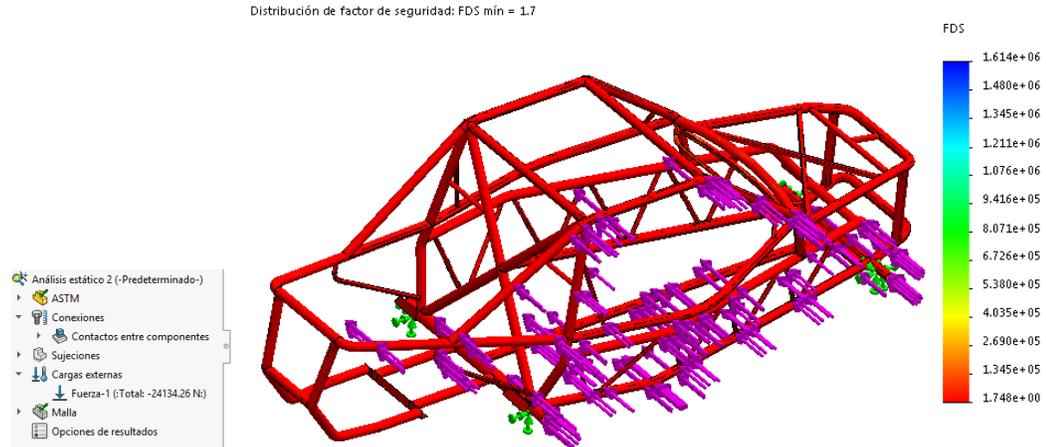


Figura 51. Análisis de Impacto Lateral de Factor de Seguridad.

### Análisis de velocidad de impacto

Con una velocidad de  $100 \text{ Km/h} = 27.77 \text{ m/seg}$ , se obtienen resultados como se detalla en la Figura 52 y 53.

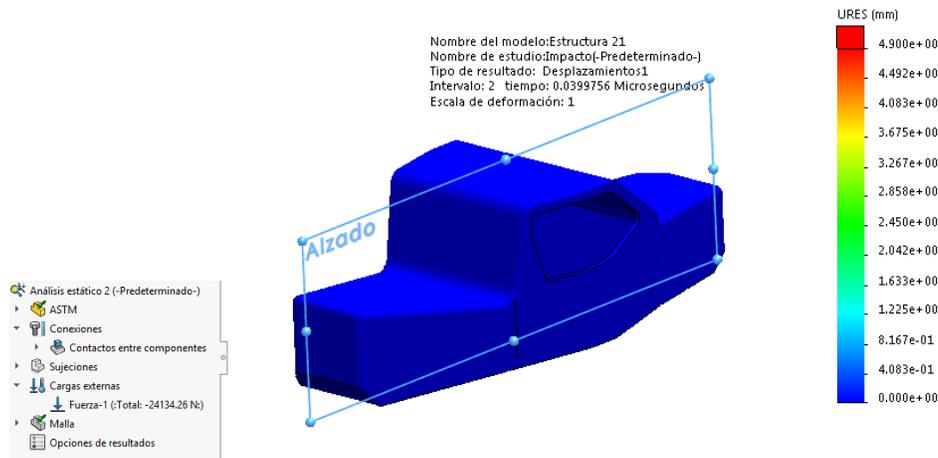


Figura 52. Análisis de Velocidad de Impacto a 100 Km/h

Velocidad (m/seg)	Deformación (mm)
27,78	4,90
20,83	3,68
13,89	2,45
6,94	1,23
0,00	0,00

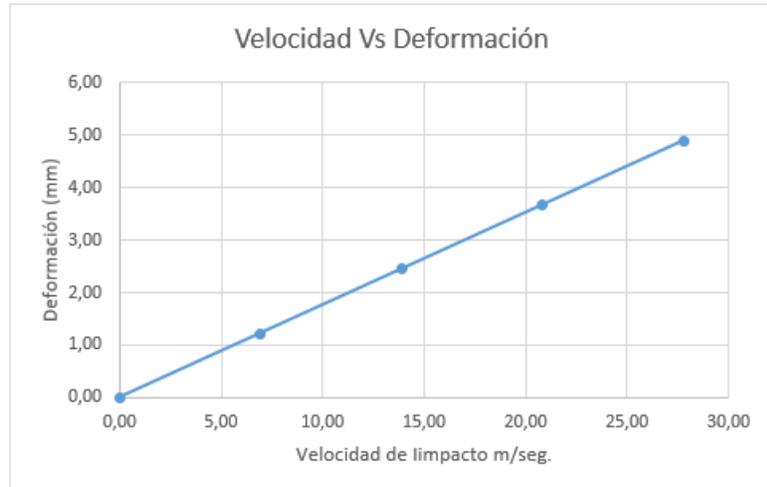


Figura 53. Estadística de la Velocidad de Impacto Vs Deformación a 100 Km/h

Como se observa en función del aumento de velocidad de impacto de la unidad mayor será la Deformación que se origina, llegando a producirse una deformación hasta del 4.9 mm con una velocidad de 100 Km/h.

Con una velocidad de 200 Km/h = 55.55 m/seg, se obtienen resultados como se detalla en la Figura 54 y 55.

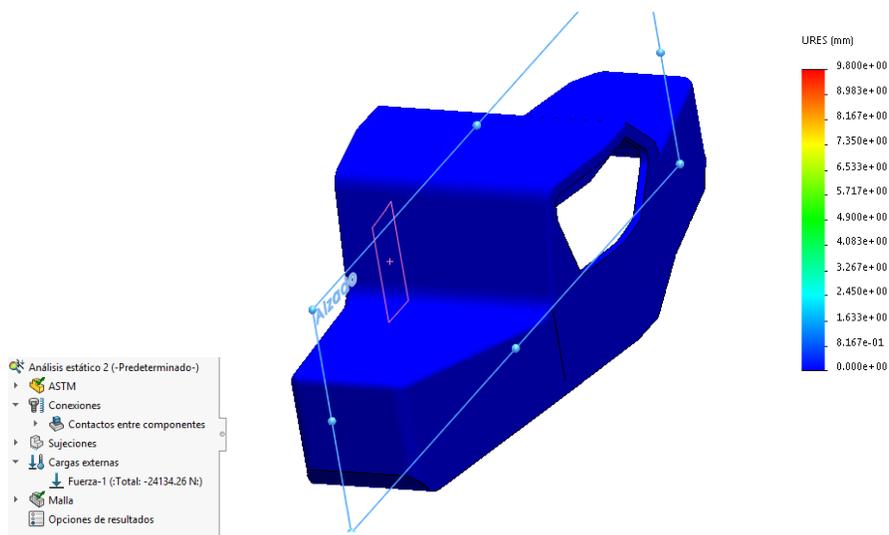


Figura 54. Análisis de Velocidad de Impacto a 200 Km/h

Velocidad (m/seg)	Deformación (mm)
55,56	9,80
41,67	7,35
27,78	4,90
13,89	2,45
0,00	0,00

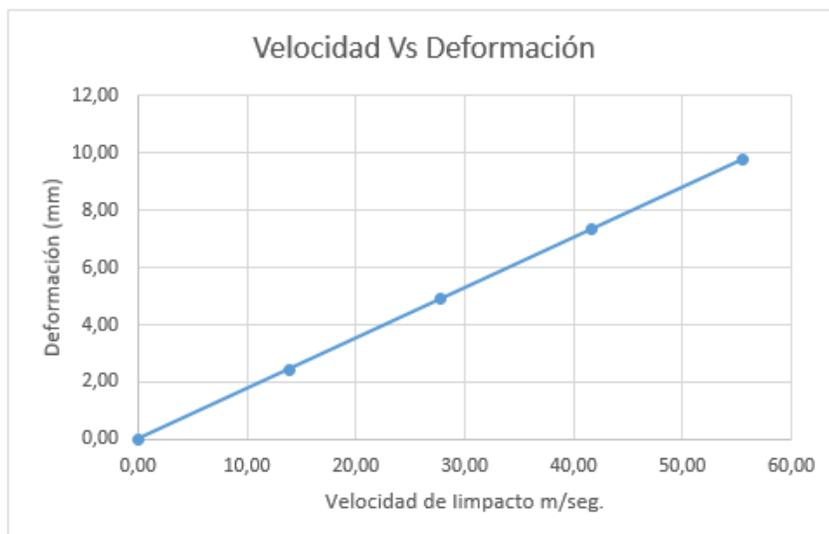


Figura 55. Estadística de la Velocidad de Impacto Vs Deformación a 200 Km/h

Como se observa en función del aumento de velocidad de impacto de la unidad mayor será la deformación que se origina, llegando a producirse una deformación hasta de 9.8 mm con una velocidad de 200 Km/h.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La geometría estructural del chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida, en el sistema CAE (SOLIDWORKS), se ha determinado inicialmente, para el análisis estático, acorde a los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN 1323:2009, se obtuvieron cargas definidas tanto estáticas como dinámicas, indicadas en la Tabla 12, calculadas y establecidas según el método LRFD, sobre los elementos estructurales definidos, brindando resultados positivos, cumpliendo con el objetivo primordial que es de resistir, comprobando y validando la deformación mediante método analítico, basándose en la combinación más crítica la cual es:  $1.2 CM + 0.5CV + 0.5CF + 1.3CRaf$ , tal como se detalla en la Tabla 13.

Tabla 12

*Cargas Determinadas*

Cargas Estáticas	
Tipo	Cargas (N)
Muerta	6033.566
Viva	1470
Cargas Dinámicas	
Frenado	1482.70 (N)
Aceleración Brusca	-1482.80 (N)
Resistencia al Aire Frontal	631,34 (N)
Giro	1049.77 (N)

Tabla 13

*Cargas basadas en  $1.2 CM + 0.5CV + 0.5CF + 1.3CRaf$*

Cargas Estáticas	
Tipo	Cargas (N)
Carga de Muerte = CM	7240,27
Carga Viva = CV	735
Cargas Dinámicas	
Carga de Frenado = CF	741.85 (N)
Carga por Resistencia al Aire Frontal = CRaf	820,742 (N)

Una vez desarrollado el desplazamiento por el Método de Elementos Finitos MEF, se analizan desplazamiento por estilo Analítico (Tabla 14), de la siguiente manera:

Dónde:

- Longitud Promedio (L) = 13.774 m
- Fuerza (F) = 7895.93 N
- Diámetro Ex (R) = 50 mm = 0.05 m
- Diámetro In (r) = 45.6 mm = 0.0456 m
- Área (A) = 0.00033 m<sup>2</sup>
- Modulo Elástico Material (E) = ?
- Desplazamiento (δ) = ?

$$\delta = \frac{F \cdot L}{A \cdot E} \quad (8)$$

$$A = \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} = 0.00033 \text{ m}^2$$

Por lo que:

Tabla 14

*Desplazamiento Analítico*

Material	Módulo Elástico (N/m <sup>2</sup> )	Desplazamiento Analítico (mm)
ASTM A36	200 x10 <sup>9</sup>	1.647
Aluminio con Calidad 6061	690 x10 <sup>9</sup>	4.776
AISI 304	190 x10 <sup>9</sup>	1.734

AISI 316	192999999999	1.707
AISI 1010	200 x10 <sup>9</sup>	1.647
AISI 1015	205 x10 <sup>9</sup>	1.600
AISI 1018	220 x10 <sup>9</sup>	1.490
AISI 1020	200 x10 <sup>9</sup>	1.647

Una vez analizado el desplazamiento, de manera analítica se procede a la comparación de los valores dados, con los obtenidos por el Método de Elementos Finitos (FEM), validando de esta manera, los resultados alcanzados como se indica en la Tabla 15, cumpliendo con el objetivo primordial que es de resistir.

Tabla 15

*Tabla de Comparaciones de Desplazamientos*

Material	Desplazamiento MEF (mm)	Desplazamiento Analítico (mm)	Error (%)
ASTM A36	1.669	1.647	1.318
Aluminio con Calidad 6061	4.775	4.776	0.021
AISI 304	1.757	1.734	1.309
AISI 316	1.67	1.707	2.215
AISI 1010	1.669	1.647	1.318

AISI 1015	1.628	1.600	1.719
AISI 1018	1.417	1.490	5.151
AISI 1020	1.669	1.647	1.318

Con estos resultados dados tanto de modo analítico, como por el Método MEF, se puede se validar los desplazamientos, resultando ser conservadores, parecidos, sin darse una gran diferencia entre ambos resultados, por lo que se dan por aceptadas las respuestas generadas por el software, por lo que a continuación se especifica el Factor de Seguridad (Tabla 16) determinado.

Tabla 16

*Factor de Seguridad*

Material	Factor de Seguridad
ASTM A36	4.6
Aluminio con Calidad 6061	1.2
AISI 304	3.8
AISI 316	3.2
AISI 1010	3.2
AISI 1015	4.5
AISI 1018	4.043
AISI 1020	4.598

Basado en la Tabla 16, donde constan todos los factores de seguridad obtenidos de los materiales dúctiles, y a los criterios de selección indicados anteriormente, se escoge el Acero ASTM A36, el cual además de poseer el factor recomendado por Mott, como es mayor a 4, para

el diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con cargas definidas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente; tiene una buena resistencia al desgaste.

Los resultados generados indican que el chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida en el Acero ASTM A36, modelado y evaluado según la Normativa NTE INEN 1323:2009 y basados en el método LRFD, cumplen con el objetivo de resistir las cargas estáticas y dinámicas, para lo cual se analizaron las cargas definidas en diferentes aceros dúctiles.

Según Borja, S. & Morocho, P. (2017), en base a la prueba de impacto lateral, la valoración origina una deformación máxima de la estructura de 10.52 mm en MATLAB establecida en coordenadas y algoritmos que dividen al chasis; y de 11.051 mm, en Ansys, como se indica en las Figuras 56 y 57, generando un factor de seguridad de 4.94 aceptable, por lo que no llegará al punto de rotura.

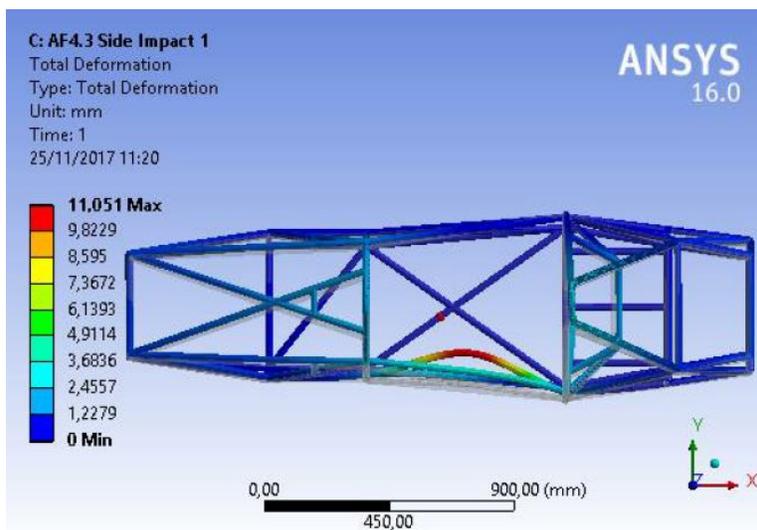


Figura 56. Análisis de Prueba de Impacto Lateral. Vista superior. Tomado de (Borja, S. & Morocho, P., 2017)

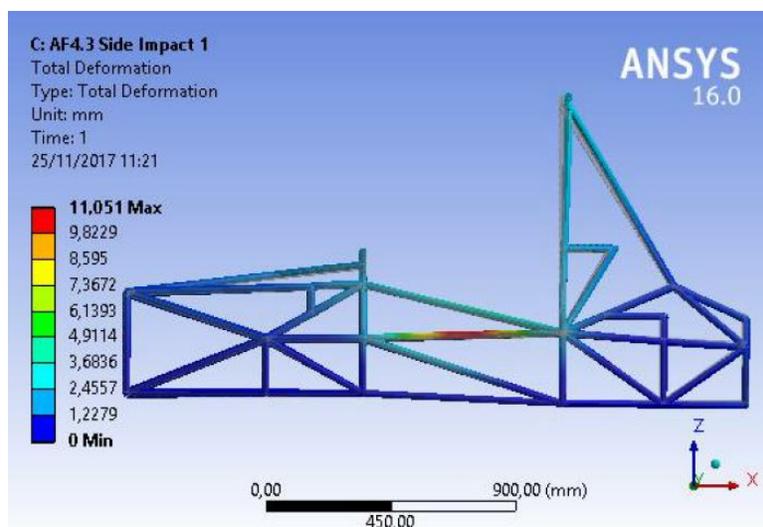


Figura 57. Análisis de Prueba de Impacto Lateral. Vista lateral. Ansys. Tomado de (Borja, S. & Morocho, P., 2017)

Redondo, R., (2017), en el estudio de resistencia del chasis tubular, en el análisis de impacto lateral, efectuado, afirma que en el transcurso de la simulación, la deformación generada de la estructura, va progresivamente, llegando a su punto máximo de 11.225 mm, la cual está por debajo de los valores máximos admisibles como es de 25 mm, como se indica en las Figura 58.

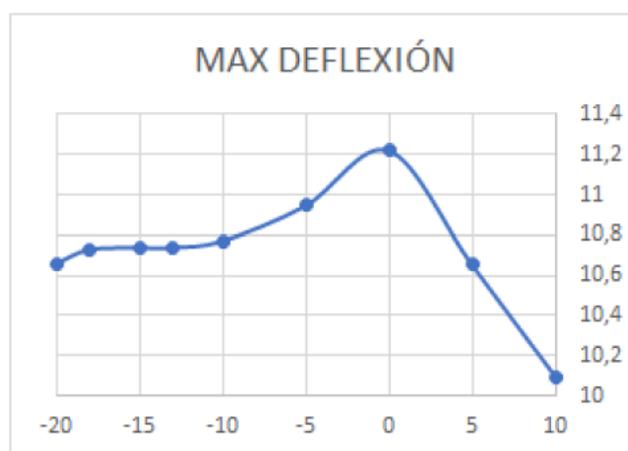


Figura 58. Variación Máxima de la Deflexión. Tomado de (Redondo, R, 2017)

Valenzuela, R., & otros, (2013), en el análisis estructural de un chasis definido, ante un impacto lateral recibido por otro vehículo, observa que la estructura sufre un desplazamiento máximo de 11.36 mm, la cual es aceptable, en vista que no presentó una deformación mayor a

los 25 mm, que es el límite máximo tolerable, establecidas en la Norma dada por la Formula SAE, como se indica en la Figura 59.

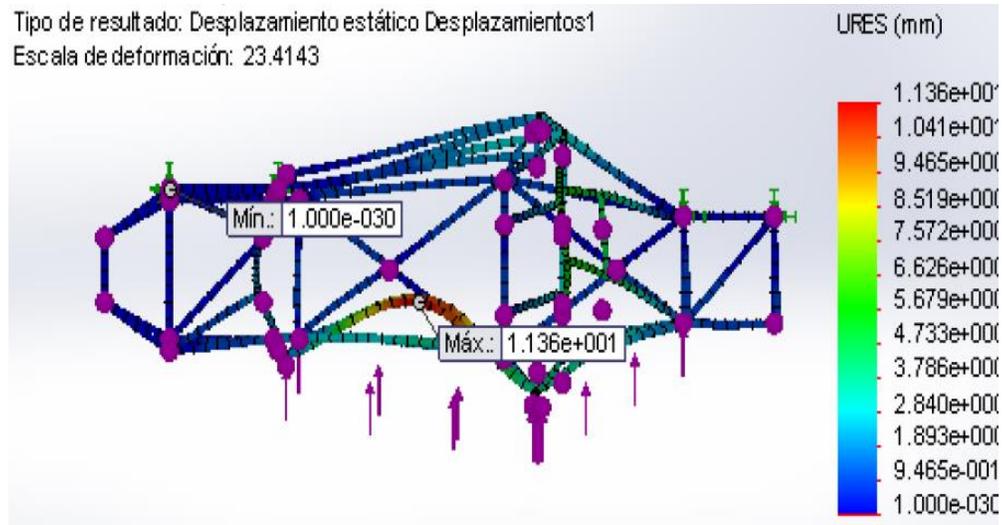


Figura 59. Desplazamiento. Tomado de (Valenzuela, R., & otros, 2013)

### Diseño de propuesta

El diseño propuesto se basa en el análisis estructural de un chasis tubular biplaza Nissan Tiida sometido a una prueba de impacto lateral, por el método de elementos finitos, en un Acero ASTM A36.

### Simulación

En el diseño definido anteriormente, el Acero ASTM A36, el mismo, que en base a cargas de impacto laterales ubicadas en la estructura, genero un desplazamiento de 11.28 mm, con un factor de seguridad de 1.748, en el cual se usó tubo estructural redondo de  $\text{Ø}50.8 \text{ mm} \times 2.2$ ; por lo que se rediseña sin perder la estética inicial con tubo de  $\text{Ø}50.8 \times 3 \text{ mm}$ , dándose gran mejoría en su factor de seguridad, así como la disminución de su desplazamiento, de la siguiente manera.

Datos:

Cargas a aplicar = 24134.26 (N), determinadas anteriormente.

### **Diseño de la estructura con tubo Ø50.8 x 3 mm**

- Se inicia modelando en 3D el sistema a analizar,
- Continuando con la ubicación del material especificado como es el Acero ASTM A36
- Después se colocan las sujeciones en la estructura.
- Continuamos con la ubicación de las fuerzas, establecida en el gestor de diseño, e indicadas anteriormente.
- Seguimos con el mallado de la estructura.

Para tener como resultados

- Tensiones equivalentes producidas, en la escala de VON Mises, observadas en la Figura 60 y 61, con una tensión mayor originada en la unión de la estructura al lado derecho de la estructura del chasis, de color celeste, según el código de colores marcado, con un valor de  $5.912e+007$  (N/m<sup>2</sup>).

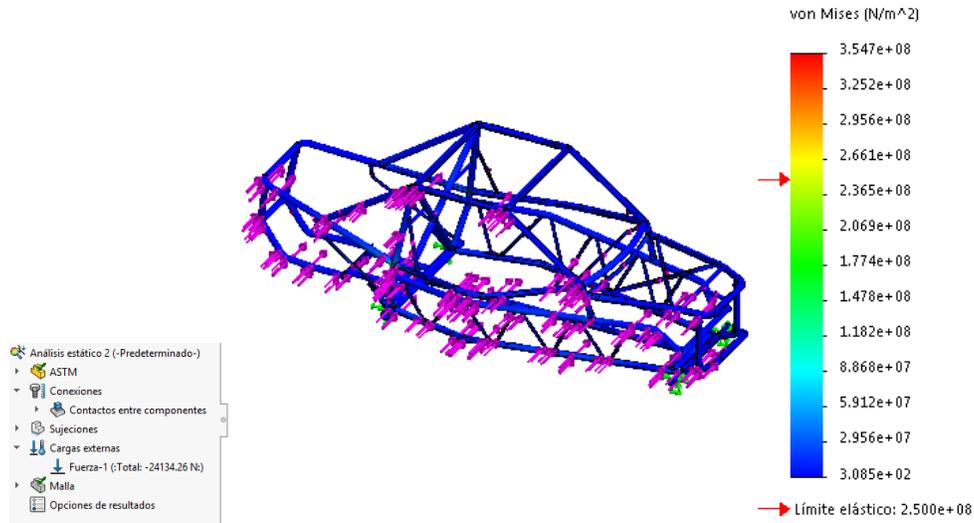


Figura 60. Análisis de Impacto Lateral de Tensiones según la escala de VON Mises, con tubo redondo de  $\text{Ø}50.8 \times 3$  mm

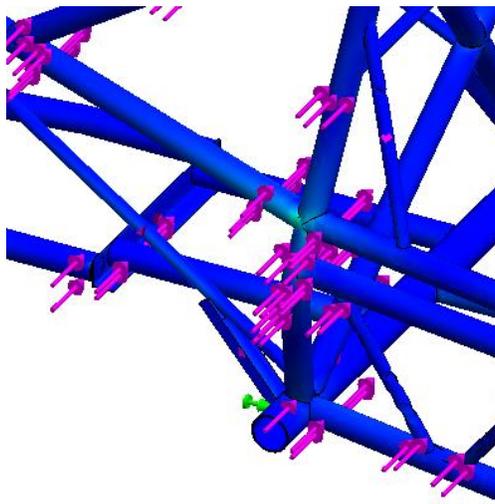


Figura 61. Detalle de la ubicación generada de mayor tensión, , con tubo redondo de  $\text{Ø}50.8 \times 3$  mm

- Desplazamiento, al igual que la tensión equivalente, se puede distinguir, que el desplazamiento máximo es de 4.909 mm, ubicado al costado derecho posterior de la estructura, tal como se indica en la Figura 62.

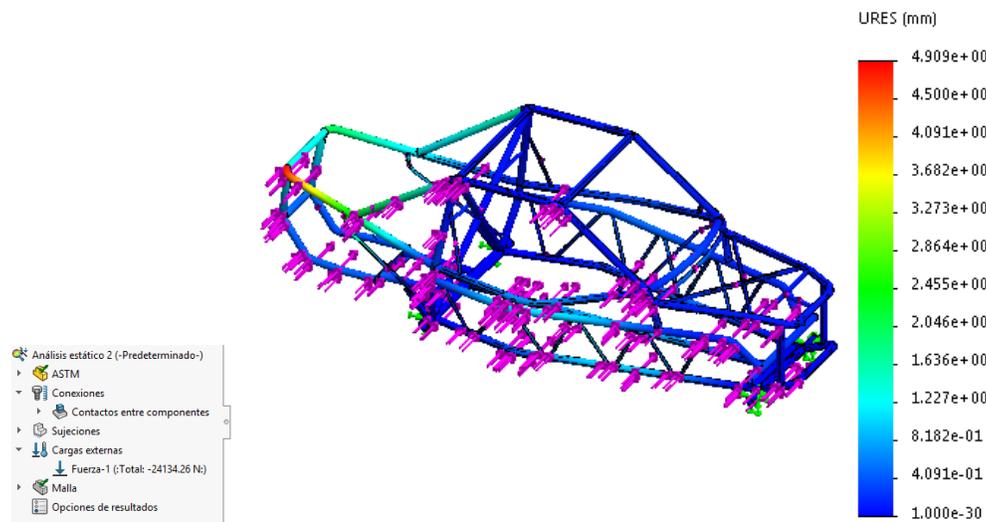


Figura 62. Análisis de Impacto Lateral de Desplazamiento, con tubo redondo de  $\varnothing 50.8 \times 3$  mm

- Factor de seguridad, en base al criterio de tensión normal máximo, se origina un valor mínimo de 2.7, como se indica en la Figura 63.

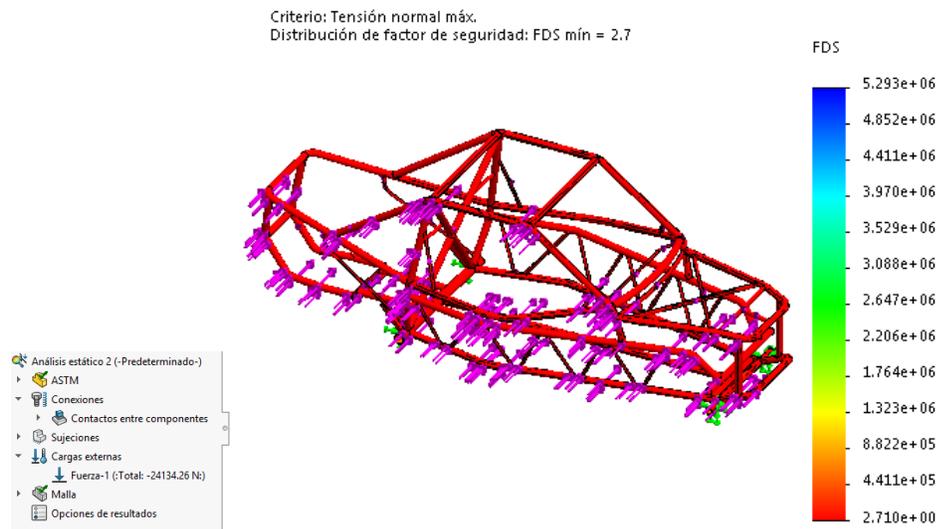


Figura 63. Análisis de Impacto Lateral de Factor de Seguridad, con tubo redondo de  $\varnothing 50.8 \times 3$  mm

Cabe recalcar que una vez diseñado el chasis como se observa en los planos del chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida (Anexo No. 01), se procede a la construcción y montaje con todos sus accesorios en el buggy, a partir de los datos obtenidos en el proceso analítico y de simulación, obteniendo como resultados.



Figura 64. Vista isométrica posterior del buggy



Figura 65. Vista isométrica frontal del buggy



Figura 66. Buggy completado

### Conclusiones

- En el análisis estructural del chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida, sometido a prueba de impacto lateral, basado en la simulación por el Método de Elementos Finitos (Anexo 2), se dan dos resultados, que permiten aprobar el diseño, como son, el desplazamiento máximo generado de 4.909 mm en la parte posterior lateral derecha, el cual no es considerable, en comparación con las dimensiones generadas del chasis y el factor de seguridad de 2.7, el cual está en el rango de 2.5 a 4, que se utiliza para el diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas.
- El cálculo estático y dinámico, en base a la Norma Técnica INEN 1323 de estándares Nacionales e Internacionales, se dan como resultado una carga muerta de 6033.566 N, carga viva de 1470 N, carga de frenado de 1482.70 N, carga de aceleración brusca de - 1482.70 N, la carga de giro de 631.34 N.
- El modelado con ocho materiales dúctiles como son el ASTM A36, Aluminio con Calidad 6061, AISI 304, AISI 316, AISI 101, AISI 1015, AISI 1018 y AISI 1020, dan desplazamientos semejantes a los calculados, validando de esta manera los datos obtenidos por el software.
- Se selecciona el material más funcional, con características más óptimas y objetivas, generando resultados aceptables como son el desplazamiento de 1.669 mm, con un factor de seguridad de 4.6, para la construcción del chasis como es el ASTM A36, según la combinación de carga más crítica como es,  $1.2M + 0.5 V + 0.5 F + 1.3 R_{af}$

- Mediante ensayos similares se validó la investigación originada, donde mediante un proceso de tipo MEF se determina deformación, esfuerzo y desplazamiento.
- Se indica que a mayor velocidad de impacto como de 100 a 200 Km/h originará mayor deformación 4.9 mm a 9.8 mm.
- Finalmente se da la reconstrucción del chasis en base a la reingeniería, con los materiales determinados, validando de esta manera el prototipo.

### **Recomendaciones**

- Es importante establecer los parámetros a determinar y a mallar, para evitar que se produzcan errores durante la simulación.
- Aplicar mejoras a los diferentes sistemas automotrices del vehículo tubular tipo Jaula Nissan Tiida, como es la dirección, suspensión, frenos, entre otras.
- Ubicar los parámetros a evaluar, como el material, restricciones, sujeciones, entre otras, de manera real, en el análisis para evitar que se nos genere resultados no válidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Artículos Científicos

- Arteaga, O., (2015). “Diseño, simulación, optimación y construcción de una carrocería de un vehículo tipo fórmula SAE”. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito (pág. 3).
- 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.
- Badea, F., (2014). “Métodos numéricos y estadísticos de caracterización de uniones tubulares soldadas para su aplicación en modelos finitos de estructuras de vehículos”. Argentina: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Borja, R. & Morocho, P. (2017). “Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo formula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca 2017”, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cárdenas, D.; Escudero J. & Quizhpi, K. (2014). “Propuesta de diseño estructural de carrocería para buses de servicio interprovincial”, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.
- Fierro, P. y Vergara, M.; (2017). “*Modelado y simulación numérico – matemático de parámetros de funcionamiento para un vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca – Ecuador*” Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- López, G., (2013). “Estudio comparativo de los métodos de elementos finitos y foto elásticos en la determinación de esfuerzos para mejorar el diseño mecánico de piezas”, Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- 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.

Martínez, M. y Patiño, D. (2015). “Simulación por ordenador mediante el método de elementos finitos y optimización por el método de ingeniería robusta, de conectores para estantería metálica”. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

Oller, B., (2016), “Análisis mediante el M.E.F. de un chasis de Formula Student”. Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.

Pozo, J., (2014), “Propuesta de Procedimientos de Análisis y de Diseño de Superestructuras de Autobuses”, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Valenzuela, R., Atayde D., Ramírez E., Ponce C., Gonzáles C, Ñeco R., Rodarte J., Romero J. (2013). “Diseño de chasis para un monoplaza formula SAE”, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (págs. 71 – 72)

### **Tesis y Bibliografías**

AENOR. (2016). “Apoyo de la normalización al sector de la automoción”. Recuperado el 05 de 01 del 2018, de <http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>

AHMSA. (2013). “Manual de diseño para la construcción con ACERO”. México: Altos Hornos De México. (pág. 3 y 4).

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. (págs. 107 – 111)

Cháfuel, V. (2017). “Análisis estructural por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial basado en simulación virtual de impacto frontal y posterior para verificar materiales y geometrías de construcción”. Latacunga, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército (pág. 47).

Clairand J. y Vera J. (2015). “Modelado de Vehículo Eléctrico en un Trayecto Típico de la Ciudad de Quito”, Ecuador: Universidad de las Américas. (pág. 16.)

DASSULT SYSTEMES, (2018). “SIMULACIÓN”. Recuperado el 10 de 05 del 2018, de: <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation/finite-element-analysis.htm>

Donaire, J., (2016), “Comparativa de modelos de simulación de vuelco de autobuses según los procedimientos del reglamento 66”, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Escudero. (2015). “Herramientas CAD/CAM/CAE y prototipado virtual y rápido para la obra pública”. Recuperado el 25 de 07 del 2018, Recuperado de <http://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/34772-Herramientas-CAD-CAM-CAE-y-prototipado-virtual-y-rapido-para-la-obra-publica.html>

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 Ejercito. (pág. 51)

Euro NCAP. (2015). “Impacto Frontal Completo”. Recuperado el 25 de 01 del 2018, de <https://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-veh%C3%ADculos/descripci%C3%B3n-de-las-valoraciones/>

García, H., (2013). “Aplicación del Método de Elementos de Contorno en la Solución de Problemas de Elasticidad Bidimensional”, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. (págs., 1 y 11).

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 Ejercito (pág. 9).

Ingeniería Avanzada y Simulación. (2017). Simulación de Impactos. Recuperado el 19 de 06 del 2018, de <http://blog.coinav.com/simulacion-de-impactos-un-aporte-a-la-seguridad/>

- Mejía, B. y Tamayo, M., (2015). “Modelación de flujo transitorio en un canal trapezoidal por el Método de Elementos Finitos”. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. (págs. 29,30 y 33)
- Menghini, M., (2013). “*Análisis de impacto lateral de chasis jaula de vehículo unipersonal de tres ruedas*”, La Plata, Argentina: Departamento de Aeronáutico, Facultad de Ingeniería de La Plata. (págs. 88, 193)
- Normativa ECE R 95, (2014), “Actos adoptados por órganos creados mediante acuerdos internacionales” Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado el 26 de 03 del 2018, de:  
<http://normativa.infocentre.es/sites/normativa.infocentre.es/files/noticias/20209997.pdf>
- Suntaxi, V., (2018). “Análisis y perfeccionamiento de elementos estructurales del sistema de suspensión delantera de un tracto camión mediante herramientas de CAD/CAE”. Sangolquí, Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército, Magíster en Manufactura y Diseño Asistido por Computador. (33, 34, 47 y 48)
- Vacacela, W., (2016). “Análisis del diseño por el método de elementos finitos de una cuchilla de corte para la obtención de tiras de caña guadua (bambú)”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. (pág. 25,26 y 69)
- Vázquez, A., (2014), “Diseño conceptual de un sub-chasis automotriz mediante optimización estructural topológica”, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México. (págs. 90 y 91)