



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DE
UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS
CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**

AUTOR: JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA

DIRECTOR: ING. STALIN MENA

CODIRECTOR: ING. MARIO LARA

LATACUNGA

2015



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES***" realizado por el señor **JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, Agosto del 2015

Ing. Stalin Mena

DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA**, con cédula de identidad N° 1205173006, declaro que este trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Agosto del 2015

JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA

C.C.: 1205173006



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, Agosto del 2015

JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA

C.C.: 1205173006

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres.

El éxito del presente proyecto de grado se logró gracias al apoyo de muchas personas y en especial al de mis queridos padres Juan Narciso y Celia María, que son a quienes les dedico por ser un pilar fundamental en mi formación tanto académica como personal, inculcándome siempre valores y siendo un ejemplo para mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy gracias a Dios por darme la oportunidad de cumplir uno de mis tan anhelados sueños, ser un profesional; por guiar cada uno de mis pasos hacia el éxito y por todas las bendiciones que ha traído a mi vida.

Un infinito agradecimiento a mis padres por ser siempre un apoyo incondicional en mi formación académica, brindándome sus consejos y enseñanzas de vida. Gracias por darme la oportunidad de luchar por mis ideales.

Agradezco a mis hermanos Oscar y Rommel por formar parte de mi vida y colaborar en el desarrollo de mi formación profesional.

Un cordial agradecimiento a mis amigos y compañeros que formaron parte del día a día dentro de las aulas de clases. Gracias por todo su apoyo. De manera especial a mi amiga Maricela, a quien tengo un gran aprecio y consideración por estar conmigo y apoyarme siempre.

Agradezco a los señores Técnico Mecánicos que forman parte del Centro de Producción de la Universidad de la Fuerzas Armadas extensión Latacunga, ya que con su ayuda, guía y colaboración se logró terminar con total éxito el proyecto.

En general quiero agradecer a todos mis amigos y familiares que de una u otra forma estuvieron en los buenos y malos momentos de mi vida.

Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| CARÁTULA | i |
| CERTIFICACIÓN | ii |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | iii |
| AUTORIZACIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xii |
| RESUMEN | xv |
| ABSTRACT | xvi |

CAPÍTULO I

| | |
|---------------------------------------|---|
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. Objetivos | 1 |
| 1.2.1. Objetivo general | 1 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 1 |
| 1.3. Justificación e importancia..... | 2 |
| 1.4. Hipótesis..... | 2 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|----|
| MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1. Antecedentes | 3 |
| 2.2. Bastidor | 3 |
| 2.2.1. Función del bastidor..... | 4 |
| 2.2.2. Montaje y sujeción de mecanismos al bastidor..... | 4 |
| 2.2.3. Tipos de bastidor..... | 5 |
| 2.3. Carrocería | 7 |
| 2.3.1. Función de la carrocería | 8 |
| 2.3.2. La aerodinámica de la carrocería..... | 8 |
| 2.3.3. Flujos de aire (Artés, 2011)..... | 11 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.3.4. | Coeficiente aerodinámico..... | 13 |
| 2.3.5. | Materiales para la construcción de la carrocería (Alianza Automotriz, 2011)..... | 15 |
| 2.4. | Cargas aplicadas al bastidor | 18 |
| 2.5. | Tipos de acero | 19 |
| 2.6. | El acero estructural..... | 20 |
| 2.6.1. | Tipos de aceros estructurales según diversas normas | 20 |
| 2.6.2. | Ventajas del acero estructural. (Silverio, 2014)..... | 23 |
| 2.6.3. | Propiedades mecánicas del acero estructural. | 24 |
| 2.7. | Tipos de perfiles estructurales para bastidores..... | 26 |
| 2.7.1. | Perfil de sección redonda | 26 |
| 2.7.2. | Perfil de sección rectangular y cuadrada..... | 26 |
| 2.8. | Soldadura de perfiles estructurales..... | 27 |
| 2.8.1. | Métodos para soldar perfiles tubulares..... | 27 |
| 2.8.2. | Parámetros de soldadura. | 32 |
| 2.8.3. | Diseño y cálculo del cordón de soldadura y resistencia de diseño..... | 36 |
| 2.8.4. | Tipos de uniones para perfiles estructurales | 39 |
| 2.8.5. | Secuencias y posiciones para la soldadura de perfiles estructurales | 42 |
| 2.8.6. | Punteado de la soldadura..... | 44 |
| 2.8.7. | Problemas y defectos comunes en la soldadura de arco..... | 45 |
| 2.9. | Sistemas CAD-CAM-CAE. | 48 |
| 2.9.1. | CAD/ Diseño asistido por computador. | 48 |
| 2.9.2. | CAM/ Manufactura asistidos por computadora. | 49 |
| 2.9.3. | CAE / Ingeniería asistida por computadora | 49 |
| 2.9.4. | Software CAE. | 51 |

CAPÍTULO III

| | | |
|---|---|----|
| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR | 52 | |
| 3.1. | Especificaciones técnicas. | 52 |
| 3.2. | Selección de alternativas. | 53 |
| 3.3. | Matrices de selección. | 53 |
| 3.4. | Proceso de modelado..... | 54 |
| 3.5. | Análisis de cargas que actúan sobre el bastidor. | 57 |
| 3.5.1. | Cargas constantes..... | 57 |
| 3.5.2. | Cargas de colisión. | 58 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.6. | Consideraciones para el análisis MEF. | 61 |
| 3.6.1. | Selección del tipo de elemento..... | 62 |
| 3.6.2. | Elaboración del mallado..... | 62 |
| 3.6.3. | Convergencia del mallado..... | 63 |
| 3.7. | Simulación del bastidor. | 70 |
| 3.7.1. | Análisis de cargas constantes. | 70 |
| 3.7.2. | Deformación total..... | 71 |
| 3.7.3. | Deformación unitaria. | 71 |
| 3.7.4. | Esfuerzo equivalente de Von Mises. | 73 |
| 3.7.5. | Factor de seguridad. | 73 |
| 3.7.6. | Factor de seguridad a fatiga. | 74 |
| 3.7.7. | Vida útil..... | 76 |
| 3.8. | Análisis de colisión lateral. | 78 |
| 3.8.1. | Aplicación de carga..... | 78 |
| 3.8.2. | Deformación total..... | 78 |
| 3.8.3. | Deformación direccional eje transversal. | 79 |
| 3.9. | Análisis de colisión frontal..... | 80 |
| 3.9.1. | Aplicación de carga..... | 80 |
| 3.9.2. | Deformación total..... | 81 |
| 3.9.3. | Deformación direccional eje longitudinal. | 81 |
| 3.10. | Construcción del bastidor..... | 82 |
| 3.10.1. | Dimensionamiento. | 83 |
| 3.10.2. | Adquisición de materiales. | 83 |
| 3.10.3. | Marcado e inspección del material..... | 84 |
| 3.10.4. | Corte de los elementos. | 85 |
| 3.10.5. | Inspección de los cortes y desbaste. | 86 |
| 3.10.6. | Ensamble de las partes de la estructura del bastidor. | 86 |
| 3.10.7. | Proceso de soldadura..... | 90 |
| 3.10.8. | Proceso de pintura. | 92 |
| 3.10.9. | Diagrama de procesos. | 94 |

CAPÍTULO IV

| | |
|---|------------|
| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA..... | 100 |
| 4.1. Diseño de la carrocería, asistido por Solidworks. | 100 |
| 4.1.1. Proceso de modelado de la carrocería. | 100 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|-----|
| 4.3. | Construcción de la carrocería..... | 104 |
| 4.3.1. | Elaboración del Molde..... | 105 |
| 4.3.2. | Aplicación de cera desmoldante..... | 105 |
| 4.3.3. | Aplicación de la fibra de vidrio..... | 107 |
| 4.3.4. | Lijado de la fibra de vidrio..... | 108 |
| 4.3.5. | Obtención de la carrocería..... | 109 |
| 4.3.6. | Pintado de la carrocería..... | 109 |
| 4.3.7. | Pulido y acabado final..... | 110 |
| 4.3.8. | Diagrama de procesos..... | 111 |

CAPÍTULO V

| | |
|---|-----|
| ANÁLISIS DE RESULTADOS | 113 |
| 5.1. Análisis de resultados del bastidor..... | 113 |
| 5.1.1. Deformación total..... | 113 |
| 5.1.2. Deformación unitaria..... | 114 |
| 5.1.3. Esfuerzo equivalente de Von Mises..... | 115 |
| 5.1.4. Factor de seguridad..... | 116 |
| 5.1.5. Factor de seguridad a fatiga..... | 117 |
| 5.1.6. Vida útil..... | 118 |
| 5.2. Análisis de resultados de la carrocería..... | 119 |
| 5.3. Análisis de costos..... | 121 |
| 5.3.1. Costo de materiales (CM)..... | 121 |
| 5.3.2. Costo de mano de obra (CMO)..... | 122 |
| 5.3.3. Costo de alquiler de maquinaria (CAM)..... | 123 |
| 5.3.4. Costo total..... | 123 |
| CONCLUSIONES | 125 |
| RECOMENDACIONES | 126 |
| BIBLIOGRAFÍA | 127 |
| NETGRAFÍA | 128 |
| ANEXO | 131 |
| Anexo 1. Planos | |
| Anexo 2. Tablas | |
| Anexo 3. Artículo Científico | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 : Aceros Estructurales SAE..... | 20 |
| Tabla 2 : Aceros Estructurales ASTM | 21 |
| Tabla 3: Aceros Estructurales AISI-SAE..... | 22 |
| Tabla 4 : Propiedades mecánicas acero estructural..... | 24 |
| Tabla 5: Perfiles de sección cuadrada | 26 |
| Tabla 6: Relación de amperaje en función del calibre del alambre. | 33 |
| Tabla 7: Valores límite de garganta de una soldadura en ángulo | 38 |
| Tabla 8: Resistencia de diseño de soldadura..... | 39 |
| Tabla 9: Problemas y defectos en la soldadura | 45 |
| Tabla 10: Especificaciones técnicas..... | 52 |
| Tabla 11: Matriz de selección del bastidor | 54 |
| Tabla 12: Cargas Constantes aplicadas al bastidor | 58 |
| Tabla 13: Propiedades del material elemento A-B | 66 |
| Tabla 14: Esfuerzo equivalente de Von Mises Punto C..... | 67 |
| Tabla 15: Resumen de procesos, bastidor | 99 |
| Tabla 16: Resumen de procesos, carrocería..... | 112 |
| Tabla 17: Deformación Total | 113 |
| Tabla 18: Deformación Unitaria | 114 |
| Tabla 19: Tensión equivalente (Von Mises) | 115 |
| Tabla 20: Factor de Seguridad | 116 |
| Tabla 21: Factor de Seguridad a Fatiga..... | 117 |
| Tabla 22: Vida Útil..... | 118 |
| Tabla 23: Análisis de Presión..... | 119 |
| Tabla 24: Análisis de Velocidad del aire | 120 |
| Tabla 25: Costos de materiales | 121 |
| Tabla 26: Costos de mano de obra | 122 |
| Tabla 27: Costos de alquiler de maquinaria..... | 123 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Bastidor en X | 5 |
| Figura 2: Bastidor Longitudinal | 6 |
| Figura 3: Bastidor Perimétrico | 6 |
| Figura 4: Bastidor Tubular | 7 |
| Figura 5: Carrocería de un Triciclo | 8 |
| Figura 6: Coeficientes Cx para algunos sólidos | 9 |
| Figura 7: Coeficientes Cx para diversos Automóviles..... | 10 |
| Figura 8: Resistencia al avance de tres formas aerodinámicas diferentes. | 11 |
| Figura 9: Flujo Exterior de Aire..... | 12 |
| Figura 10: Diferencias entre flujos de aire laminar y turbulento. | 13 |
| Figura 11: Incidencia de la carrocería en el flujo de aire. | 14 |
| Figura 12: Materiales empleados en construcción de carrocerías..... | 15 |
| Figura 13: Fibra de Vidrio. | 17 |
| Figura 14: Diagrama Esfuerzo-Deformación..... | 24 |
| Figura 15: Soldadura SMAW | 28 |
| Figura 16: Soldadora Eléctrica..... | 29 |
| Figura 17: Soldadura FCAW | 29 |
| Figura 18: Diagrama Suelda GMAW | 31 |
| Figura 19: Ángulo correcto de trabajo. | 36 |
| Figura 20: Dimensión efectiva de garganta menor o igual a 3/8” | 37 |
| Figura 21: Dimensión efectiva de garganta mayor que 3/8” | 37 |
| Figura 22: Diferentes tipos de uniones soldadas planas | 41 |
| Figura 23: Soldadura circular de 360°..... | 42 |
| Figura 24: Soldadura vertical ascendente de 180° | 43 |
| Figura 25: Soldadura vertical ascendente | 43 |
| Figura 26: Soldadura horizontal..... | 44 |
| Figura 27: Punteado de Soldadura. | 44 |
| Figura 28: Modelado de un bastidor | 48 |
| Figura 29: CAD/CAM | 49 |
| Figura 30: Modelo analizado en software CAE..... | 50 |
| Figura 31: Análisis aerodinámico en ANSYS | 51 |
| Figura 32: Planteamiento de alternativas | 53 |
| Figura 33: Boceto en 2D del bastidor | 55 |
| Figura 34: Modelado Geométrico del Bastidor..... | 55 |
| Figura 35: Revisión y evaluación de diseño | 56 |
| Figura 36: El Bastidor como estructura | 57 |
| Figura 37: Seccionamiento de Cargas..... | 58 |
| Figura 38: Zona de Análisis de Impacto Lateral..... | 60 |
| Figura 39: Zona de Análisis de Impacto Frontal..... | 61 |
| Figura 40: Forma Geométrica de los elementos | 62 |
| Figura 41: Malla Inicial y Campo de Esfuerzos Computarizada | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 42: Esfuerzo Equivalente de Von Mises..... | 63 |
| Figura 43: Sección A-B de la estructura | 64 |
| Figura 44: Ubicación Puntual de las fuerzas y los puntos de fijación | 64 |
| Figura 45: Diagrama de Cuerpo Libre | 65 |
| Figura 46: Diagrama de Fuerzas Cortantes | 65 |
| Figura 47: Diagrama de Momentos Flectores Máximos..... | 65 |
| Figura 48: Curva de Convergencia | 68 |
| Figura 49: Esfuerzo equivalente de Von Mises máximo | 69 |
| Figura 50: Factor de seguridad del elemento A-B | 69 |
| Figura 51: Análisis estático y dinámico | 70 |
| Figura 52: Mallado del Bastidor | 70 |
| Figura 53: Deformación máxima | 71 |
| Figura 54: Diagrama Esfuerzo – Deformación Unitaria..... | 72 |
| Figura 55: Deformación Unitaria..... | 72 |
| Figura 56: Esfuerzo equivalente de Von Mises | 73 |
| Figura 57: Factor de Seguridad | 74 |
| Figura 58: Indicadores de resistencia a la fatiga | 74 |
| Figura 59: Amplitud de Carga Constante | 75 |
| Figura 60: Teoría de Corrección de fatiga | 75 |
| Figura 61: Factor de seguridad mínimo | 76 |
| Figura 62: Fatiga de los metales..... | 77 |
| Figura 63: Valor de vida determinado para el bastidor..... | 77 |
| Figura 64: Carga de Impacto lateral y la zona de acción | 78 |
| Figura 65: Deformación máxima de impacto lateral..... | 79 |
| Figura 66: Deformación máxima producida en el eje transversal..... | 80 |
| Figura 67: Carga de impacto frontal y la zona de acción..... | 80 |
| Figura 68: Deformación máxima de impacto frontal..... | 81 |
| Figura 69: Deformación máxima producida en el eje longitudinal..... | 82 |
| Figura 70: Marcado e inspección del material | 84 |
| Figura 71: Medición del material | 84 |
| Figura 72: Corte con sierra de arco | 85 |
| Figura 73: Corte con amoladora..... | 85 |
| Figura 74: Desbaste usando esmeril..... | 86 |
| Figura 75: Base principal del bastidor | 87 |
| Figura 76: Parantes frontales del bastidor | 87 |
| Figura 77: Tirante de la Sección Frontal Superior | 88 |
| Figura 78: Protección Lateral..... | 89 |
| Figura 79: Puntos de anclaje de la suspensión | 90 |
| Figura 80: Bastidor Ensamblado | 90 |
| Figura 81: Soldadura de la base principal | 91 |
| Figura 82: Cordón de soldadura de la base principal del bastidor | 91 |
| Figura 83: Preparación de las superficies del bastidor..... | 92 |
| Figura 84: Aplicación de Fosfato de Zinc..... | 93 |
| Figura 85: Aplicación de la Pintura Electroestática..... | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 86: Boceto de la parte delantera de la carrocería..... | 101 |
| Figura 87: Boceto de la parte delantera y lateral de la carrocería..... | 101 |
| Figura 88: Boceto de la carrocería indefinida..... | 102 |
| Figura 89: Carrocería terminada y ensamblada al chasis..... | 102 |
| Figura 90: Resultado de la velocidad del aire..... | 103 |
| Figura 91: Resultado de la velocidad del aire (Vista Lateral)..... | 104 |
| Figura 92: Resultado de la presión ejercida por aire..... | 104 |
| Figura 93: Modelación..... | 105 |
| Figura 94: Cera Desmoldante..... | 106 |
| Figura 95: Corte de la Fibra de Vidrio..... | 106 |
| Figura 96: Preparación de la mezcla..... | 107 |
| Figura 97: Colocación de la fibra de vidrio..... | 108 |
| Figura 98: Lijado de la fibra de vidrio..... | 108 |
| Figura 99: Masillado y lijado de la carrocería..... | 109 |
| Figura 100: Deformación Total..... | 114 |
| Figura 101: Deformación Unitaria..... | 115 |
| Figura 102: Tensión equivalente (Von Mises)..... | 116 |
| Figura 103: Factor de Seguridad..... | 117 |
| Figura 104: Factor de Seguridad a Fatiga..... | 118 |
| Figura 105: Vida Útil..... | 119 |
| Figura 106: Análisis de la presión del aire..... | 120 |
| Figura 107: Análisis de la velocidad máxima y mínima del aire..... | 121 |
| Figura 108: Resumen Porcentual de Costos..... | 124 |

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como propósito el diseño y la construcción de la Carrocería y Bastidor de un triciclo monoplaza eléctrico que se adapte a las necesidades de personas discapacitadas en sus extremidades inferiores. Dentro de lo que corresponde al diseño del bastidor, la selección de materiales estructurales fue de vital importancia debido a que el mismo estará sometido a diferentes cargas y esfuerzos, lo que determinará la vida útil del triciclo. El bastidor del triciclo fue diseñado bajo una estructura tubular de acero estructural negro ASTM A-500, material que se comercializa en el país. Gracias a su formidable bastidor el triciclo monoplaza soporta una carga viva de 100 kg. y una carga muerta de 300 kg. La carrocería de dicho vehículo fue diseñada en fibra de vidrio y construida mediante procesos tecnológicos, los mismos que permitieron dar un acabado perfecto y una lúcida apariencia. La simulación del proyecto en software CAD y CAE son herramientas de diseño que nos permitió predecir el comportamiento real del bastidor en función de las cargas que soportará el triciclo monoplaza, las mismas que fueron sustentadas por los valores de los parámetros previamente calculados.

PALABRAS CLAVE:

- **TRICICLO MONOPLAZA**
- **AUTOMÓVILES - CARROCERÍA**
- **AUTOMÓVILES - BASTIDOR**

ABSTRACT

This project was the design and construction of the body and frame of a single-seater electric tricycle that adapts to the needs of people with disabilities in their lower extremities. Within which corresponds to the design of the frame, the selection of structural materials was vital since it will be subjected to different loads and efforts, which will determine the useful life of the tricycle. Tricycle frame was designed under a tubular structural steel ASTM A-500, material which is marketed in the country. Thanks to its formidable frame single-seat tricycle supports a live load of 100 kg. And a dead 300 kg load the body of this vehicle was designed in fiberglass and built by technological processes, which allowed to give a perfect finish and a lucid look. Simulation of the project in software CAD and CAE are design tools that allowed us to predict the actual behavior of the frame according to the loads that will support the single-seat tricycle, which were supported by the values of the previously calculated parameters.

KEYWORDS:

- **SINGLE - SEAT TRICYCLE**
- **CARS - BODYWORK**
- **CARS - FRAME**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TRICICLO MONOPLAZA ELÉCTRICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES

En el Ecuador según cifras del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) en el año 2010 existían 1'608.334 personas con algún tipo de discapacidad, que representan el 12,14% de la población total; 184.336 hogares ecuatorianos tienen al menos una persona con discapacidad. La población rural del Ecuador presenta un 85.6% de pobreza, el 50% de las personas con discapacidad son pobres, con un ingreso per cápita promedio de treinta dólares por mes. (INEC, 2010)

En la Provincia de Cotopaxi de acuerdo a cifras del CONADIS (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades del Ecuador) el número de personas con discapacidad es de 8.261, entre hombres y mujeres, con diferentes tipos de discapacidad, auditivas, físicas, intelectuales, de lenguaje, psicológicas y visuales. (Acurio Recalde, 2013)

Durante los últimos años, la toma de conciencia hacia las personas con distintas discapacidades ha hecho que muchas fundaciones, entidades y organizaciones; en éste caso la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO), luchan por dar igualdad, confort y facilidad al desplazamiento de dichas personas por los diferentes senderos de la ciudad de Latacunga.

Sabemos que el medio común de movilización para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores siempre ha sido la silla de ruedas. Razón por la cual una de las innovaciones introducidas en los medios de transporte unipersonales, es el acceso a los mismos por personas con dicha discapacidad, valiéndose de sus propios medios y facultades físicas; es decir sobre su silla de ruedas y sin ayuda de terceras personas.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

La ausencia de un medio de transporte innovador, versátil y ecológico que se acople a la movilización de personas con discapacidad en sus extremidades inferiores en nuestro país, especialmente en la Ciudad de Latacunga – Provincia de Cotopaxi, es razón, por la cual hemos visto la necesidad de diseñar un triciclo monoplaza eléctrico en el cual las personas de la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO) se puedan trasladar de un lugar a otro dentro de la ciudad sin la dependencia de terceras personas que le ayuden en el desempeño normal de su movilización.

El triciclo monoplaza eléctrico es un medio de transporte innovador que les permite a las personas de la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO) moverse con mayor independencia y facilidad en su diario vivir. Por lo cual el desarrollo de este proyecto está enfocado al diseño y construcción de la carrocería y bastidor del mismo, a fin de brindar una estructura capaz de soportar las distintas cargas estáticas y dinámicas a las que se expone el vehículo, para de ésta manera ofrecer mayor confort y seguridad a dichas personas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar y construir la carrocería y bastidor de un triciclo monoplaza eléctrico mediante el uso de software de simulación y a través de procesos tecnológicos a fin de brindar transporte a personas con discapacidad en sus extremidades inferiores.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar el bastidor del triciclo monoplaza eléctrico y simular las cargas y esfuerzos, con la ayuda del Autodesk Inventor y ANSYS, de modo que podamos predecir el comportamiento del mismo.
- Construir el bastidor mediante procesos de manufactura normalizados.

- Diseñar la carrocería del triciclo monoplaza eléctrico con la asistencia del Autodesk Inventor y simular la aerodinámica de la misma con la ayuda del ANSYS.
- Construir la carrocería a base de fibra de vidrio a fin de obtener una estructura liviana con una aerodinámica funcional.
- Brindar el acabado correspondiente a la carrocería incluyendo el proceso de pintado.

1.3. Justificación e importancia

La necesidad de transportarse y de ser independiente en su movilización siempre ha existido y ha sido de gran importancia para las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores residentes en la Ciudad de Latacunga – Provincia de Cotopaxi. Por lo cual se vio oportuno cubrir esta necesidad de dichas personas al crear un triciclo monoplaza eléctrico capaz de soportar una carga neta de hasta 150 kg, la misma que se logra a través de un eficiente diseño del bastidor y de sus diferentes sistemas, los mismos que permiten el buen desempeño del vehículo.

El triciclo monoplaza eléctrico diseñado para la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO) es la alternativa de futuro a la movilidad y el transporte urbano, gracias a la utilización de una energía limpia y eficiente como es la energía eléctrica.

1.4. Hipótesis

¿Será viable el diseño y construcción de la carrocería y bastidor del triciclo monoplaza eléctrico para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores con el fin de ayudar en el transporte y movilización independiente de dichas personas?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el Ecuador según cifras del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) en el año 2010 existían 1'608.334 personas con algún tipo de discapacidad, que representan el 12,14% de la población total; 184.336 hogares ecuatorianos tienen al menos una persona con discapacidad. La población rural del Ecuador presenta un 85.6% de pobreza, el 50% de las personas con discapacidad son pobres, con un ingreso per cápita promedio de treinta dólares por mes. (INEC, 2010)

En la Provincia de Cotopaxi de acuerdo a cifras del CONADIS (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades del Ecuador) el número de personas con discapacidad es de 8.261, entre hombres y mujeres, con diferentes tipos de discapacidad, auditivas, físicas, intelectuales, de lenguaje, psicológicas y visuales. (Gaona, 2015)

Durante los últimos años, la toma de conciencia hacia las personas con distintas discapacidades ha hecho que muchas fundaciones, entidades y organizaciones; en éste caso la Asociación de Discapacitados de Cotopaxi (ADICO), luchan por dar igualdad, confort y facilidad al desplazamiento de dichas personas por los diferentes senderos de la ciudad de Latacunga.

Sabemos que el medio común de movilización para personas con discapacidad en sus extremidades inferiores siempre ha sido la silla de ruedas. Razón por la cual una de las innovaciones introducidas en los medios de transporte unipersonales, es el acceso a los mismos por personas con dicha discapacidad, valiéndose de sus propios medios y facultades físicas; es decir sobre su silla de ruedas y sin ayuda de terceras personas.

2.2. Bastidor

“El bastidor de un vehículo es el armazón, sobre él se montan y sujetan todos los mecanismos soportando el peso de unos y quedando otros colgados de él. El requerimiento de una estructura de bastidor es sumamente importante en un vehículo ya que no solo asegura la unión entre los grupos mecánicos, también soporta la carrocería y la carga.” (Alonso, Técnicas del Automóvil, 2009, pág. 4)

Nuevas técnicas buscan minimizar el peso del bastidor con el fin de mejorar las características de velocidad y aceleración del vehículo. El aumento de rigidez es de cierta manera contrario a la disminución de peso, siendo este hecho el que ha orientado la evolución de los diferentes tipos de diseño constructivos de los bastidores y el uso de nuevos materiales. (Alonso, Técnicas del Automóvil, 2009, pág. 4)

2.2.1. Función del bastidor

Para que el bastidor realice su función es necesario que tenga una gran rigidez, es decir, que pueda soportar los esfuerzos que se producen durante la marcha del vehículo sin deformarse. (Calvo Rodriguez, 2010, pág. 5)

En la construcción de un bastidor existen tres parámetros fundamentales:

- **Ligereza:** Se puede mejorar mucho la potencia y rendimiento de un motor, pero debe ir acompañado de un bastidor ligero, en otro caso se está desperdiciando potencia. Por otro lado, el bastidor es uno de los elementos más pesados del vehículo, y un aumento de ligereza proporciona una disminución de consumo importante.
- **Rigidez:** Sin duda éste es el parámetro fundamental de funcionamiento del bastidor. Es importante conseguir una estructura resistente a impactos para la protección del piloto, siendo la rigidez el factor más influyente del comportamiento del vehículo en pista.
- **Costos:** La fabricación debe ser económicamente viable. Los bastidores con presupuestos elevados. (Calvo Rodriguez, 2010, pág. 5)

2.2.2. Montaje y sujeción de mecanismos al bastidor.

A la estructura metálica se fija y relaciona entre sí, los distintos sistemas mecánicos, entre ellos se puede mencionar.

- Motor
- Transmisión
- Suspensión
- Carrocería

2.2.3. Tipos de bastidor

Los bastidores son variables en función del vehículo, con diferentes formas y geometría, de los esfuerzos que éste debe soportar. Existen cuatro tipos de bastidores empleados en los automóviles:

De columna o en X. Este bastidor se estrecha por el centro proporcionando al vehículo una estructura rígida. El travesaño delantero es muy robusto para servir de fijación para los anclajes de las suspensiones delanteras. “Una variedad del mismo es el bastidor de tubo central, que cuenta con una viga longitudinal en la sección central, con perfil cuadrado o redondo y que tiene en sus elementos sendos entramados para alojar los elementos mecánicos del vehículo.” (Gómez, 2012, pág. 61)

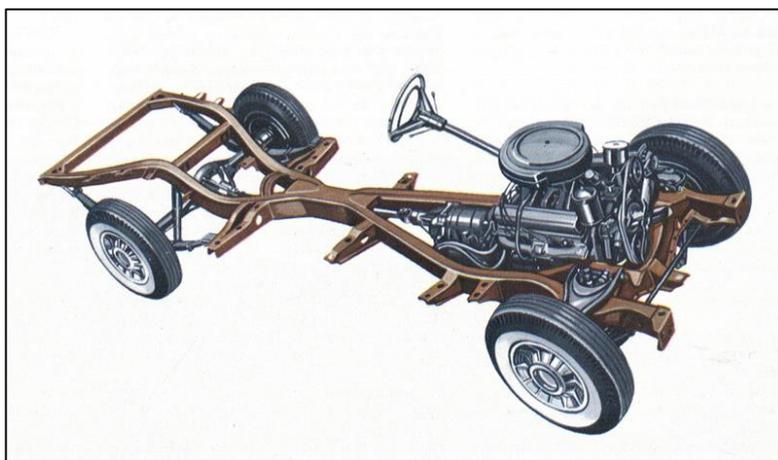


Figura 1: Bastidor en X

Fuente: (Motor Giga, 2011)

Largueros longitudinales (H). Se compone de dos perfiles longitudinales, denominados largueros, unidos entre sí por varios travesaños. Este tipo de bastidor es muy antiguo y el más sencillo, éste es independiente de la carrocería, es sumamente rígido y se emplea en los vehículos todo terreno e industriales. (Gómez, 2012, pág. 61)

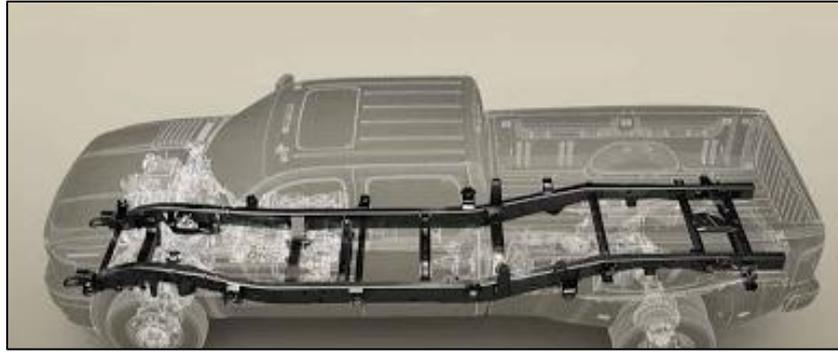


Figura 2: Bastidor Longitudinal

Fuente: (Leal Callirgos, 2012)

Perimétrico. Los largueros de este bastidor soportan la carrocería en la parte más ancha, ofreciendo una mayor protección en caso de impacto lateral. Los travesaños traseros están diseñados convenientemente para absorber la energía de un impacto trasero. “En caso de impacto lateral, como el larguero longitudinal se encuentra muy cerca del cerramiento del piso, se evitan en parte los aplastamientos.” (Gómez, 2012, pág. 62)

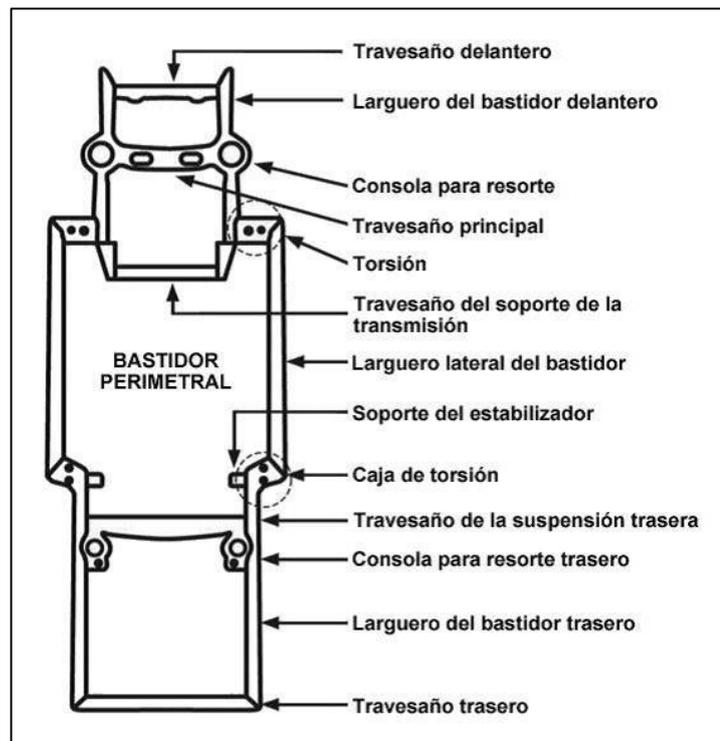


Figura 3: Bastidor Perimétrico

Fuente: (Salamanca, 2013)

Tubular. Está formado por una red de tubos finos soldados entre sí, que adopta la forma de una jaula. A este se montan directamente el resto de elementos del automóvil. Su uso se limita a pequeños vehículos deportivos, de competición y algunos prototipos que requieren una gran rigidez, resistencia y reducción de peso; donde la carrocería tiene exclusivamente la misión estética y aerodinámica. (Gómez, 2012, pág. 62)



Figura 4: Bastidor Tubular

Fuente: (Teran, 2010)

2.3. Carrocería

“A lo largo del tiempo, la carrocería ha experimentado una profunda evolución, las exigencias iniciales en cuanto a rigidez dieron paso a un tipo de construcción integrada, basada en un elemento portante al que posteriormente se acopla la carrocería propiamente dicha.” (Alonso, Técnicas del Automóvil, 2009, pág. 5)



Figura 5: Carrocería de un Triciclo

Fuente: (Alós, 2013)

2.3.1. Función de la carrocería

Se puede concebir a la carrocería como una caja especial destinada para albergar y transportar personas, durante la circulación del automóvil. Se consideran tres funciones principales que cumple la carrocería como tal.

- Proteger a los ocupantes.
- Dotar al vehículo de un aspecto aerodinámico.
- Brindar una apariencia estética.

2.3.2. La aerodinámica de la carrocería

En los vehículos previos a su construcción, se ha adquirido una gran importancia al diseño de la carrocería, pues no necesariamente se trata de conseguir un vehículo de líneas agradables, sino que también debe poseer una buena aerodinámica, de manera que la resistencia a vencer en su movimiento sea la mínima posible, ya que de no ser así, el aire causa dificultades como desestabilizar al vehículo de caso de viento cruzado, condiciona la habitabilidad y provoca el ensuciamiento de la carrocería. (Rodríguez, 2014)

En la siguiente ilustración se puede observar las diferentes formas aerodinámicas existentes y su valor Cx.

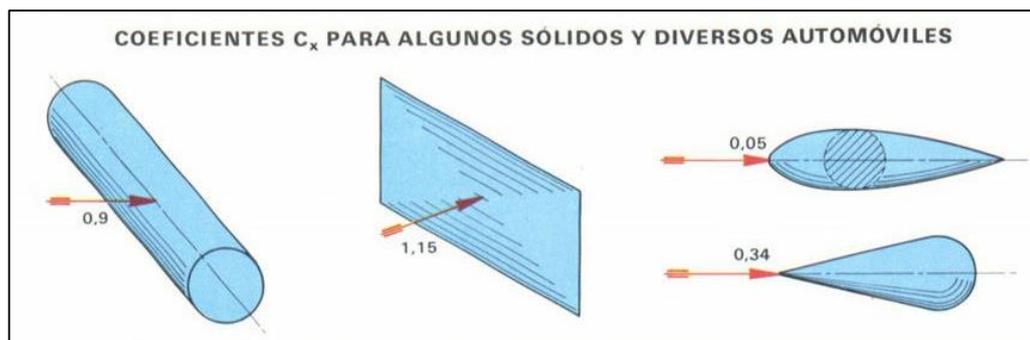


Figura 6: Coeficientes Cx para algunos sólidos

Fuente: (Rodríguez, 2014)

El estudio aerodinámico se apoya en teorías físico-matemáticas cada vez más perfeccionadas y se controla a través de sofisticados programas CAE y por medio de pruebas realizadas en instalaciones experimentales (túnel de viento). (Rodríguez, 2014)

Para conseguir la forma aerodinámica óptima, lo ideal sería que asemejase a una gota de agua, ya que ésta en su caída se moldea con el aire para obtener la menor resistencia posible. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, esta forma altamente aerodinámica tendría una escasa habitabilidad interior (requisito imprescindible hoy en día), por lo que la búsqueda del diseño ideal se conjuga la forma y la habitabilidad. Por otra parte no solo es importante la forma sino también las proporciones del vehículo; por ello, la relación entre anchura y longitud debe ser en torno a $1/3$ para conseguir una resistencia mínima.

En definitiva, se pretende conseguir una forma estilizada que limite las turbulencias que se forman en la parte posterior (si es suave y alargada, el aire forma menos turbulencia); de hecho, la parte trasera es mucho más importante que la delantera en cuanto a aerodinámica se refiere. (Rodríguez, 2014)

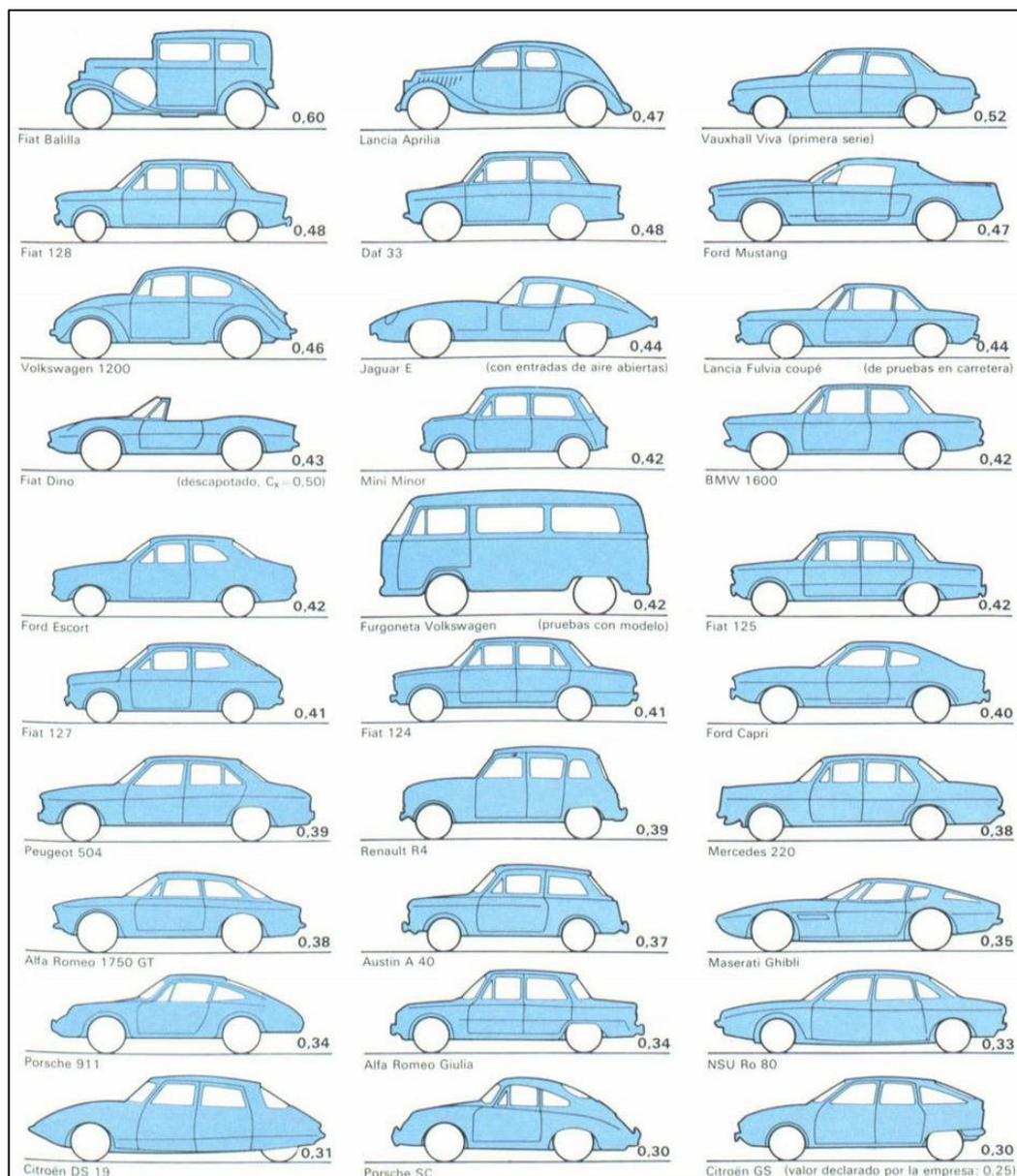


Figura 7: Coeficientes C_x para diversos Automóviles

Fuente: (Rodríguez, 2014)

En la siguiente ilustración, se puede observar la comparación de la resistencia al avance de tres formas aerodinámicas diferentes.

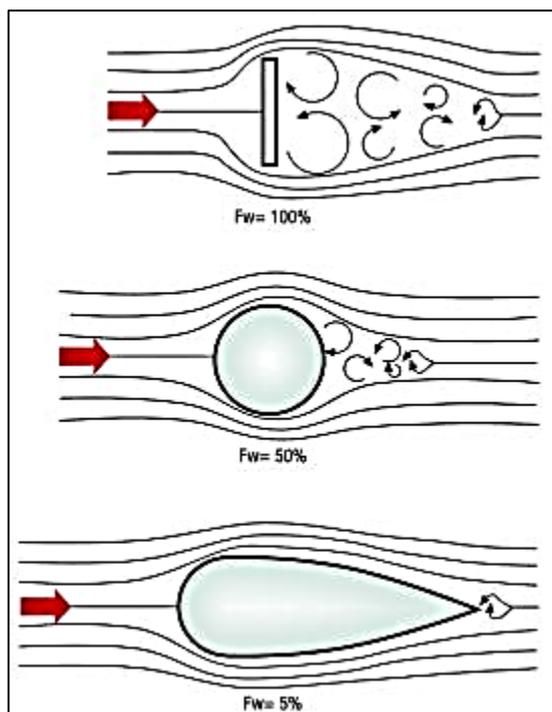


Figura 8: Resistencia al avance de tres formas aerodinámicas diferentes.

Fuente: (Alonso, Técnicas de Automovil, 2011)

2.3.3. Flujos de aire (Artés, 2011)

En el contacto entre el vehículo y el aire, pueden apreciarse dos flujos de aire diferentes:

Flujo interior. Agrupa al aire de ventilación, el cual supone el 20% del total de la resistencia aerodinámica, desde la perspectiva de la ventilación, la aerodinámica interior de una carrocería debe ser capaz de mantener la temperatura interior constante, con independencia de la temperatura exterior y de la velocidad del vehículo, renovar el aire de forma que el ambiente no se empobrezca (sin producir corrientes importantes de aire).

Flujo exterior. Comprende tanto el aire que circula sobre la carrocería, como el que discurre entre la misma y el suelo, suponiendo el principal factor de resistencia aerodinámica.

El flujo aerodinámico, también afecta al confort de los pasajeros a través de la sonoridad. Las fuentes de ruido aerodinámico, suelen coincidir con las que forman

turbulencias, por lo que en el principio, un buen coeficiente aerodinámico hace que el vehículo sea silencioso.

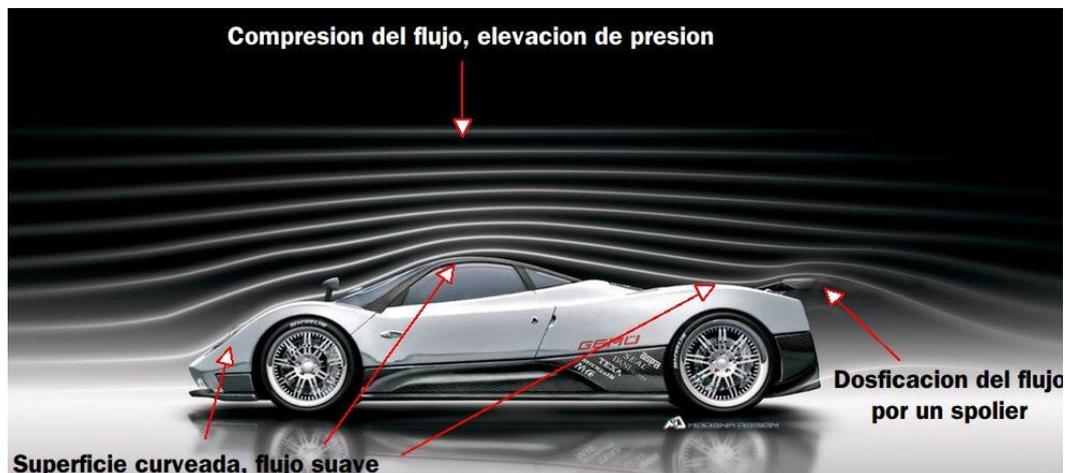


Figura 9: Flujo Exterior de Aire

Fuente: (Lopez, 2012)

Los factores que más decisivamente influyen en la resistencia aerodinámica total al avance del vehículo son: el tamaño y la forma de la carrocería, la velocidad relativa del vehículo respecto al aire y la densidad del aire. Otro factor importante, lo constituye el tipo de superficie de la carrocería, que determina el rozamiento con la capa de aire que está en contacto con ella. En este sentido el aire puede fluir de dos formas:

Uniformemente. Cada partícula de aire se desplaza, con respecto a la carrocería, en la misma dirección y velocidad que las que le rodean. Este desplazamiento tan fluido se conoce como fluido laminar. Cuanto mayor sea el flujo laminar, menor será la resistencia aerodinámica.

Con turbulencia. Después de la capa laminar el flujo de aire se transforma en turbulento, debido a que las partículas de aire que pierden velocidad con respecto a las demás e incluso cambian de dirección.

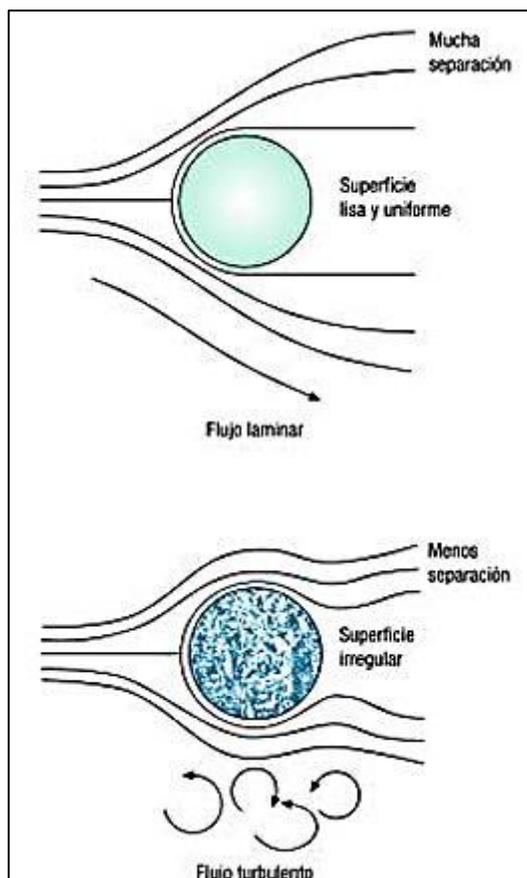


Figura 10: Diferencias entre flujos de aire laminar y turbulento.

Fuente: (Alonso, Técnicas de Automovil, 2011)

2.3.4. Coeficiente aerodinámico

El comportamiento dinámico de una carrocería, se ve influido principalmente por la resistencia y fuerzas aerodinámicas que se originan en el desplazamiento del vehículo. Para estudiar el comportamiento del mismo, se ha definido una serie de parámetros como los coeficientes aerodinámicos, que analizan las cualidades y comportamiento de cada vehículo utilizando unos valores de referencia predeterminados. (Motor, 2012)

Estos coeficientes son:

Cx. “Muchas veces se ha escuchado términos como el de aerodinámica o coeficiente aerodinámico en referencia a un automóvil, pero ¿para qué nos beneficia saber qué son o para qué funcionan. Entender el significado del coeficiente aerodinámico es elemental pues es en gran medida el responsable (junto con otros

elementos) de la eficiencia y de la seguridad que nos ofrece un automóvil. (Motor, 2012)

Para entender mejor, se debe conocer en principio, qué es la resistencia aerodinámica (o simplemente resistencia), es decir, al componente de la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire, en la dirección de la velocidad relativa entre el aire y el cuerpo. La resistencia es siempre de sentido opuesto a dicha velocidad, por lo que habitualmente se dice de ella que es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.” (Motor, 2012)

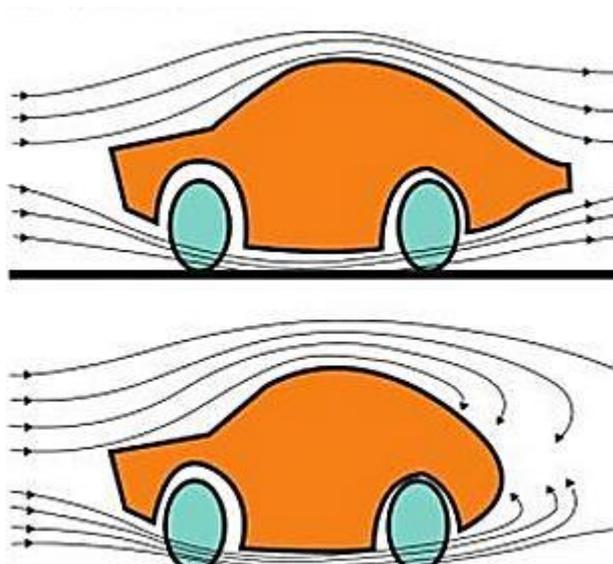


Figura 11: Incidencia de la carrocería en el flujo de aire.

Fuente: (Gómez, 2012)

Cx A. Para expresar la resistencia aerodinámica total de un vehículo no es suficiente el C_x , ya que éste solo hace referencia a la forma del cuerpo sin considerar el tamaño. Por ello la potencia que ha de emplear el vehículo para superar la resistencia del aire además de depender del C_x , está relacionado directamente con la superficie de ataque del vehículo (A), medida en m^2 , de tal manera que solo mediante el producto de $C_x \cdot A$, se puede tener una referencia clara de la resistencia al aire que ofrece un vehículo. (Rodríguez, 2014)

Existen también otros factores, que inciden en el cálculo total del valor de la resistencia al aire, como son: la velocidad del vehículo y la densidad del aire. (Rodríguez, 2014)

La relación con el resto de los parámetros anteriormente mencionados queda establecida por la siguiente fórmula:

$$W=Cx.A.(\rho/2.Vp^2)$$

Siendo:

Cx : Coeficiente de penetración aerodinámico

A : Superficie de ataque (m²).

ρ : Densidad del aire (Kg/m³).

Vp : Velocidad del vehículo (m/s).

2.3.5. Materiales para la construcción de la carrocería (Alianza Automotriz, 2011)

Las carrocerías de los automotores han evolucionado en su diseño, material y espesor. Años atrás, se manejaban piezas metálicas muy pesadas y de una sola clase de acero, lo cual iba en deterioro de la seguridad pasiva de los vehículos.



Figura 12: Materiales empleados en construcción de carrocerías.

Fuente: (Lopez, 2012)

Cada material tiene determinadas propiedades físicas, químicas y mecánicas que lo harán más o menos idóneo para una función concreta, dependiendo básicamente del tipo de necesidades al que se someta.

A continuación, se enlistan los materiales más utilizados en la construcción de carrocerías.

Acero. El acero es el material por excelencia utilizado para la construcción de las carrocerías de los automóviles, pero bajo la denominación de acero hay diferentes calidades con características muy particulares que propician su utilización según la aplicación.

Se emplea en diversas aleaciones y grados de resistencia. Los espesores de lámina de carrocería oscilan entre 0.5 y 3mm; sin embargo, principalmente está compuesta por láminas de 0.8 a 1mm. El acero presenta excelentes características mecánicas: rigidez, resistencia, aptitud para el mecanizado y conformación. Además, su obtención y transformación son relativamente baratas. El acero constituye una buena base para obtener aleaciones específicas y admite diferentes tratamientos mecánicos o químicos para mejorar sus propiedades.

Aluminio. La seguridad, las prestaciones y el confort en el mundo automotriz hacen imprescindible el empleo de materiales más ligeros, como el aluminio, el cual se emplea en la construcción de aviones, naves espaciales de alta velocidad y automóviles de alta competición. Actualmente, ha comenzado a usarse en la fabricación de automóviles, ya que además de ser el metal de mayor abundancia en el planeta, presenta dos grandes ventajas.

- Es más ecológico al ser reciclable en un 100 por ciento, además de disminuir el nivel de contaminación ambiental gracias a que su proceso de reciclaje requiere de menor energía.
- Resulta más seguro al tener una deformación controlada en caso de impacto y un reducido peso que favorece la actuación de los frenos.

Fibra de vidrio. Es el material que se está utilizando actualmente en la construcción de la carrocería, así como elementos interiores: tableros de instrumentos, consolas, revestimientos, molduras, espejos, deflectores, entre otros.



Figura 13: Fibra de Vidrio.

Fuente: (RoCar, 2010)

Entre las características de la fibra de vidrio que la hacen idónea para la construcción de la carrocería, están:

- Excelente resistencia mecánica específica (resistencia a la tracción/densidad).
- Resistencia a la humedad (debe sin embargo evitar la humedad antes de la laminación porque perjudica la unión con la resina).
- Gran resistencia a productos que deterioran como las gasolinas, grasa y aceites.
- Buenas propiedades como aislante eléctrico.
- Excelente aptitud para el conformado (moldeado), lo que facilita diseños más atrevidos y aerodinámicos.
- Nula capacidad corrosiva.
- Alta inalterabilidad a los cambios de temperatura.
- Alto límite elástico.
- Perfecta aptitud para el reciclaje y reaprovechamiento de las piezas.
- Reparación óptima.
- Incombustibilidad es por naturaleza. No propaga la llama ni origina con el calor humos o toxicidad.

2.4. Cargas aplicadas al bastidor

“Uno de los retos difíciles para un diseñador es estimar a detalle las cargas que recibirá una estructura durante la vida útil. Después de que se han estimado las cargas es necesario investigar las combinaciones más desfavorables que pueden ocurrir en un momento dado.” (McCormac J. , 2009, pág. 40)

A continuación se da una breve introducción a los tipos de cargas, donde se han adoptado las definiciones de la presente Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323:

Carga muerta. Es la carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma estructura, más la carga de los elementos permanentes. Sus valores se obtienen considerando el peso específico del material de la estructura y el volumen de la estructura. Para efecto de cálculo se trabaja en unidades de kN/m². (INEN, 2009, pág. 5)

Carga viva. Es la carga externa móvil sobre la estructura del bastidor que incluye el peso del ocupante y éste, actúa verticalmente, generalmente durante períodos cortos de la vida de la estructura. Para efecto de cálculo se trabaja en unidades de kN/m². (INEN, 2009, pág. 5)

Carga de frenado (F). Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo. Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s². (INEN, 2009, pág. 6)

Carga de aceleración brusca (Ab). Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo. Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario. (INEN, 2009, pág. 6)

Carga por Resistencia del Aire frontal (Raf). Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal. (INEN, 2009, pág. 6)

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$Raf = 1/2 * Cx * p * Af * V^2$$

Dónde:

f.- Carga por resistencia Aerodinámica, en (N)

p.- Densidad del aire, en (kg/m³)

V.- Velocidad del aire, en (m/s). (Como mínimo 25 m/s)

Af.- Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal, en (m²)

Cx.- Coeficiente de resistencia frontal del aire. (Como mínimo 0.7)

2.5. Tipos de acero

Los aceros se clasifican en cinco grupos principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistente, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

Aceros al carbono: “Se denomina también no aleados, poseen en su composición hierro, carbono, pequeñas cantidades de magnesio (inferior al 1,6 %) y silicio (inferiores al 0,55 %), como impurezas poseen fósforo y azufre. Con este tipo de acero se fabrican máquinas, carrocerías de automóvil, estructuras de construcción.” (Gómez, 2012, pág. 84)

Aceros aleados: Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc. (Gómez, 2012, pág. 84)

Aceros de baja aleación ultra resistentes: Es la familia de aceros más reciente de las cinco. Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios. (Gómez, 2012, pág. 85)

Aceros inoxidables: “Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidables son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos.” (Gómez, 2012, pág. 85)

2.6. El acero estructural

Se define como acero estructural al producto de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le aportan características específicas. Es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción de estructuras, tales como construcciones industriales y en cualquier otra aplicación; se produce en una amplia gama de formas y grados, lo que permite una gran flexibilidad en su uso y su fabricación es barata siendo éste el material más fuerte y más versátil disponible en la industria de la construcción.

2.6.1. Tipos de aceros estructurales según diversas normas

Existe una gran variedad de formas de identificar y clasificar a los aceros estructurales y cada uno de ellos se presenta con una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos.

A continuación se detalla por medio de tablas la gran variedad de aceros estructurales existentes y de fabricantes, que ha originado el surgir de normativas y reglamentaciones que varía de un país a otro.

a. Aceros estructurales según Norma SAE-IRA

Tabla 1
Aceros Estructurales SAE

| IRAM/ SAE | Características | Aplicaciones | Características | | |
|--------------|---|--|-----------------|----|--------------|
| | | | Sr | S | Dureza HB |
| IRAM/ SAE | Acero al Cr-Ni con alta resistencia y alta tenacidad. Acero de baja templabilidad | Piezas de mediana y alta responsabilidad en la construcción de máquinas en general | 600 | 37 | 17 |
| | | | 600 | 37 | 15 |
| | | | 470 | - | 14 |
| | | | 470 | 34 | 14 |
| | | | 820 | 58 | 24 |

CONTINÚA 

| | | | | | |
|----------------------|---|--|------|----|----|
| SAE 3310 | Acero al Cr-Ni de muy alta tenacidad. Acero de muy alta templabilidad y muy elevada resistencia a la fatiga | Piezas de alta responsabilidad y de grandes dimensiones. | 1000 | 67 | 31 |
| | | | 1050 | 66 | 32 |
| | | | 715 | 45 | 20 |
| | | Engranajes, ejes traseros, piezas de dirección, pernos de seguridad. | 1010 | 76 | 31 |
| | | | 930 | 73 | 30 |
| | | | 0 | 2 | |
| SAE 4317 | Acero al Cr-Ni-Mo de mediana templabilidad y excelente tenacidad | Piezas de responsabilidad de grandes y mediana dimensiones. Pernos para cadenas, engranajes y piñones de mando | 765 | 46 | 22 |
| | | | 755 | 46 | 22 |
| | | | 550 | 38 | 15 |
| | | | 550 | 71 | 30 |
| | | | 110 | 0 | 2 |
| SAE 5120 | Acero al Cr con buena resistencia y tenacidad y baja templabilidad | Piezas de pequeñas y medianas dimensiones, confeccionadas por extrusión y mecanizado | 570 | 36 | 16 |
| | | | 570 | 39 | 16 |
| | | | 480 | 29 | 13 |
| | | | 490 | 29 | 14 |
| | | | 880 | 71 | 28 |
| | | | 0 | 5 | |
| IRAM 5121 | Acero al Mn y Cr. Equivalente al acero DIN 20MnCr5. Buenas propiedades en estado | Engranajes, coronas, piñones del diferencial, ejes, árboles. Otras piezas de tamaño medio | 680 | - | 20 |
| | | | 680 | 40 | 20 |
| | | | 520 | 31 | 14 |
| IRAM/ SAE 4815 | Acero al Ni-Mo con muy alta tenacidad, mediana templabilidad y muy alta resistencia | Piezas de grandes dimensiones y de muy alta responsabilidad, especialmente a la fatiga | 650 | 44 | 21 |
| | | | 670 | 45 | 21 |
| | | | 600 | 40 | 17 |
| | | | 1080 | 86 | 33 |

Fuente: (Andrade, dspace.epoch.edu.ec, 2009)

b. Aceros estructurales según Norma ASTM

Tabla 2
Aceros Estructurales ASTM

| Clasificación de los aceros, según ASTM | | Límite Elástico | | Tensión de rotura | |
|---|------------------|-----------------|-----|-------------------|---------|
| | | Ksi | MPa | Ksi | Mpa |
| ASTM A36 | | 36 | 250 | 58-80 | 400-550 |
| ASTM A53 | Grado B | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A106 | Grado B | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A131 | Gr A.B.CS.D.DS.E | 34 | 235 | 58-71 | 400-490 |
| ASTM A139 | Grado B | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A381 | Grado Y35 | 35 | 240 | >60 | >415 |
| ASTM A500 | Grado A | 33 | 228 | >45 | >310 |
| | Grado B | 42 | 290 | >58 | >400 |
| ASTM ASO 1 | | 36 | 250 | >58 | >400 |
| ASTM A516 | Grado 55 | 30 | 205 | 55-75 | 380-515 |
| | Grado 60 | 32 | 220 | 60-80 | 415-550 |
| ASTM A524 | Grado I | 35 | 240 | 60-85 | 415-586 |

CONTINÚA 

| | | | | | |
|-----------|-----------|----|-----|-------|---------|
| | Grado II | 30 | 205 | 55-80 | 38a 550 |
| ASTM A529 | | 42 | 290 | 60-85 | 415-550 |
| ASTM A570 | Grado 30 | 30 | 205 | >49 | >340 |
| | Grado 33 | 33 | 230 | >52 | >360 |
| | Grado 36 | 36 | 250 | >53 | >365 |
| | Grado 40 | 40 | 275 | >55 | >380 |
| | Grado 45 | 45 | 310 | >60 | >415 |
| | Grado 50 | 50 | 345 | >65 | >450 |
| ASTM A709 | Grado 36 | 36 | 250 | 58-80 | 400-550 |
| API 5L | Grado B | 35 | 240 | 60 | 415 |
| | Grado X42 | 42 | 290 | 60 | 415 |

Fuente: (Tutorial N° 101, 2012)

c. Aceros estructurales Norma AISI-SAE, UNS

Tabla 3
Aceros Estructurales AISI-SAE

| Designación | | |
|-------------|--------|--|
| AISI-SAE | UNS | TIPOS DE ACEROS |
| 10XX | G10XXX | Aceros al Carbono comunes |
| 11XX | G11XXX | Aceros maquinables con alto S |
| 12XX | G12XXX | Aceros maquinables con ato P y S |
| 13XX | G13XXX | Aceros al manganeso, con 1 75 % Mn |
| 15XX | G15XXX | Aceros al Manganeso. con Mn sobre 1% |
| 40XX | G40XXX | Aceros al Molibdeno, con 0.25% Mo |
| 41XX | G41XXX | Aceros al Cromo-Molibdeno. con 0,40 a 1,1% Cr y 0,08 a 0.35%Mo |
| 43XX | G43xxx | Aceros al Ni-Cr-Mo con 1,65 a 2%Ni, 0,4 a 05%Cr y 0,2 a 0.3%Mo |
| 46XX | G46XXX | Aceros al Ni-Mo, con 0,7 a 2%Ni y Mo 0,15 a 0,3%Mo |
| 47 XX | G47XXX | Aceros al Ni-Cr-Mo. Con 1.0 5% Ni. 0,45%Cr y 0.2%Mo |
| 48XX | G48XXX | Aceros Ni-Mo, con 3,25 a 3.25% Ni y 0.2 a 0,3% Mo |
| 51XX | G51XXX | Aceros al Cromo con 0.7 a 1.1 %Cr |
| E51100 | G51986 | Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 1.0% Cr |
| E52100 | G52986 | Aceros al Cromo (horno eléctrico), con 45%Cr |
| 61XX | G61XXX | Aceros al Cr-V , con 0.6 a 0,95%Cr y 0.1 a 0,1 5%V mínimo |
| 86 XX | G86XXX | Aceros Ni-Cr-Mo. con 0,55%Ni, 0.5%Cr y 0,2%Mo |
| 87XX | G87XXX | Aceros Ni-Cr-Mo. con 0,55%Ni, 0.5%Cr y 0,25%Mo |
| 88XX | G88XXX | Aceros Ni-Cr-Mo, con 0.55%Ni, 0.5% Cr y 0,3 a 0.4%Mo |
| 9260 | G92XXX | Aceros al Silicio, con 1.8 a 2.2%Si |
| 50BXX | G50XXX | Aceros al Cr. con 0,2 a 0.6% Cr y 0.0005 a 0,003% boro |
| 51B60 | G51601 | Aceros al Cr , con 0.8% Cr y 0.0005 a 0,003% boro |
| 81B45 | G81B51 | Aceros Ni -Cr -Mo con 0.3%Ni, 0.45 de Cr, 0 12%Mo y 0,0005 a 0.003%B |
| 94BXX | G94XXX | Aceros Ni-Cr-Mo, con 0.45%Ni, 0.4 de Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003%B |

Fuente: (Montoya, 2012)

2.6.2. Ventajas del acero estructural. (Silverio, 2014)

Alta resistencia: la alta resistencia del acero por unidad de peso, permite estructuras relativamente livianas, lo cual es de gran importancia en cualquier tipo de construcción.

Homogeneidad: las propiedades del acero no se alteran con el tiempo, ni varían con la localización en los elementos estructurales.

Elasticidad: el acero es el material que más se acerca a un comportamiento linealmente elástico, hasta alcanzar esfuerzos considerables.

Ductilidad: el acero permite soportar grandes deformaciones sin falla, alcanzando altos esfuerzos en tensión, ayudando a que las fallas sean evidentes.

Tenacidad: el acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).

Facilidad de unión con otros miembros: el acero en perfiles se puede conectar fácilmente a través de remaches, tornillos o soldadura con otros perfiles.

Rapidez de montaje: la velocidad de construcción en acero es muy superior al resto de los materiales.

Disponibilidad de secciones y tamaños: el acero se encuentra disponible en perfiles para optimizar su uso en gran cantidad de tamaños y formas.

Se pueden prefabricar estructuras: el acero permite realizar la mayor parte posible de una estructura en taller y la mínima en obra consiguiendo mayor exactitud.

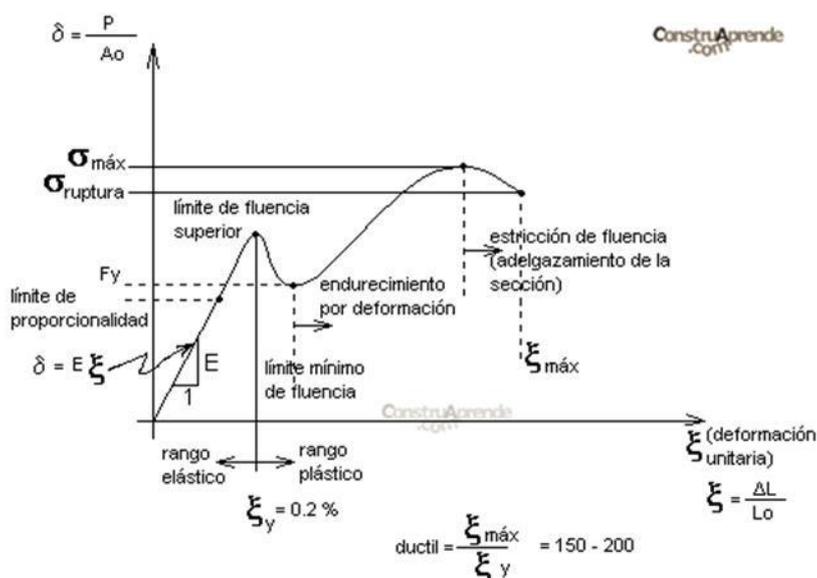


Figura 14: Diagrama Esfuerzo-Deformación

Fuente: (Pino, 2013)

2.6.3. Propiedades mecánicas del acero estructural.

Es importante conocer las propiedades mecánicas del material, ya que éstas indican el punto funcional o no, del material cuando éste se encuentra sujeto a cargas, cambios de temperatura y otras condiciones que pueden deformar el material; en las siguientes tablas se muestra las propiedades mecánicas de los diferentes aceros estructurales existentes. (McCormac J. , 2008)

Tabla 4
Propiedades mecánicas acero estructural.

| Designación ASTM | F _y Mínimo esfuerzo a la fluencia Kg/cm ² | F _u Esfuerzo último Kg/cm ² | Máximo espesor para placas (mm) | Tipo de acero |
|--|---|---|---------------------------------|---------------|
| A36 | 2249.824 | 4077.81-5624.56 | 4077.81- 5624.56 | C |
| | 2531.05 | 4077.81-5624.56 | 4077.81- 5624.56 | |
| A53 Grado B | 2460.74 | 4218.42 | | C |
| A242 | 2952.89 | 4429.34 | De 40 hasta 200 | HS-LA |
| | 3234.12 | 4710.57 | De 20 hasta 40 | |
| | 3515.35 | 4921.49 | Hasta 20 | |
| A441 Descontinuado en 1989; Reemplazado por A572 | | | | HS-LA |

CONTINÚA →

| | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------|
| A5C0 Grado A | 2320.13 | 31363.81 | Redondos | C |
| Grado B | 2952.89 | 4077.81 | Redondos | |
| Grado C | 3234.12 | 4359.03 | Redondos | |
| Grado A | 2741.97 | 3163.81 | Laminados | C |
| Grado B | 3234.12 | 4077.81 | Laminados | |
| Grado C | 3515.35 | 4359.03 | Laminados | |
| A501 | 2531.05 | 4077.81 | | C |
| A514 | 6327.63 | 7030.70-9139.91 | De 65 hasta 150 | A |
| | 7030.70 | 7030.70-9139.91 | Hasta 65 | |
| A529 | 2952.89 | 4215.42-5976.09 | Hasta 13 | C |
| A570 Grado 40 | 2812.28 | 3866.88 | | C |
| Grado 45 | 3163.81 | 4218.42 | | |
| Grado 50 | 3515.35 | 4596.95 | | |
| A572 Grado 42 | 2552.89 | 4218.42 | Hasta 150 | |
| Grado 50 Grado 60 | 3515.35 4213.42 | 4569.95 5273.02 | Hasta 100 Hasta 32 | HS-LA |
| Grado 65 | 4563.95 | 5624.56 | Hasta 32 | |
| A588 | 2552.89 3234.12 | 4429.34 4710.57 | De 125 hasta 200 | HS-LA |
| | 3515.35 | 4921.49 | De 100 hasta 125 | |
| | | | Hasta 100 | |
| A606 | 3163.81 3515.35 | 4569.95 4321.45 | | HS-LA |
| A607 Grado 45 | 3163.81 | 4218.42 | | |
| Grado 50 | 3515.35 | 4559.95 | | |
| Grado55 | 3866.88 | 4921.49 | | HS-IA |
| Grado 60 | 4218.42 | 5273.02 | | |
| Grado65 | 4569.95 | 5624.56 | | |
| Grado 70 | 4921.49 | 5976.09 | | |
| A611 Grado C | 2320.13 | 3374.74 | | |
| Grado D | 2812.28 | 3655.95 | | c |
| Grado E | 5624.56 | 5765.17 | | |
| A618 Grado I, II Grado III | 3515.35 | 4921.49 | Hasta 20 | HS-LA |
| | 31515.35 | 4569.95 | | |
| A709 Grado 36 | 2531.05 | 4077.81-5624.56 | Hasta 100 | C |
| Grado 50 | 3515.35 | 4569.95 | Hasta 100 | H-S.LA |
| Grado 50w | 3515.35 | 4921.49 | Hasta 100 | H-S.LA |
| Grado100 y100w | 6327.63 | 7030.70-9139.91 | De 64 hasta 102 | A |
| Grado 100 y100w | 7030.70 | 7733.77-9139.91 | Hasta 64 | A |

Fuente: (tesis.uson.mx, 2010)

2.7. Tipos de perfiles estructurales para bastidores.

Los perfiles metálicos de sección redonda, cuadrada y rectangular, son productos laminados en frío, fabricados específicamente para su empleo en estructuras. Por su forma cerrada y bajo peso presentan grandes ventajas y un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo.

2.7.1. Perfil de sección redonda

Se utilizan en todo tipo de elementos estructurales como columnas, vigas y en cualquier otra aplicación en la que sea necesaria la resistencia y fiabilidad que ofrecen las secciones tubulares.

2.7.2. Perfil de sección rectangular y cuadrada

Los tubos estructurales rectangulares presentan mejoras tales como el ahorro de soldaduras, facilidad de trabajo e instalación.

Tabla 5
Perfiles de sección cuadrada

| Denominación | Dimensión | | Peso | |
|------------------|-----------|------|------|-------|
| | a | e | | |
| Pulgadas | mm | mm | Kg/m | Kg/6m |
| 3/4 | 20 | 1.50 | 0.88 | 5.26 |
| 1 | 25 | 1.50 | 1.13 | 6.78 |
| | | 2.00 | 1.48 | 8.90 |
| 1 ^{1/4} | 30 | 1.50 | 1.37 | 8.20 |
| | | 2.00 | 1.80 | 10.79 |
| 1 ^{1/2} | 40 | 1.50 | 1.72 | 10.32 |
| | | 2.00 | 2.27 | 13.62 |
| | | 3.00 | 3.22 | 19.33 |
| 2 | 50 | 1.50 | 2.32 | 13.93 |
| | | 2.00 | 3.13 | 18.75 |
| | | 3.00 | 4.62 | 27.69 |

CONTINÚA 

| | | | | |
|------------------|-----|------|-------|-------|
| 2 ^{3/4} | 60 | 2.00 | 3.74 | 22.42 |
| | | 3.00 | 5.56 | 33.35 |
| 3 | 75 | 2.00 | 4.65 | 27.88 |
| | | 3.00 | 6.88 | 41.26 |
| 4 | 100 | 4.00 | 9.11 | 54.64 |
| | | 2.00 | 6.22 | 37.30 |
| | | 3.00 | 9.26 | 55.53 |
| | | 4.00 | 12.28 | 73.66 |

Fuente: (Novacero, 2015)

2.8. Soldadura de perfiles estructurales

La soldadura es un proceso tecnológico por medio del cual se une dos o más materiales entre sí, con el fin de obtener un solo cuerpo y para ello se puede lograr por la soldadura de fricción o por fusión localizada de los materiales donde influye una gran cantidad de variables como la composición química del acero ya que ésta es la que da idea de su soldabilidad, cuando se trata de un acero sin alear (acero utilizado en la fabricación de bastidores) es sumamente importante el contenido de carbono que debe ser necesariamente menor o igual que el 0,22%, el contenido de azufre que debe estar en un valor inferior a 0,045% y el fósforo en la misma proporción. (UNICOM, 2014)

2.8.1. Métodos para soldar perfiles tubulares

Para la soldadura de nudos de perfiles tubulares, la soldadura por arco se utiliza de manera predominante. Existen subgrupos de soldadura por fusión para la unión de los perfiles tubulares, entre ellos podemos mencionar.

a. Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)

“El soldeo por arco con electrodos revestidos es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo y el metal base de la unión a soldar.” (Lincoln, 2012)

La fuente de corriente alterna (CA) o continua (CC) provista de los controles necesarios se conecta por un cable con una pinza de masa a la pieza y por el otro a la

pinza porta electrodos, en contacto con el electrodo o consumible. Cuando éste hace contacto sobre la pieza y luego se retira una mínima distancia, se establecerá un arco eléctrico, quedando cerrado el circuito. El arco produce una temperatura superior a la necesaria para fundir la mayoría de los metales. (Asta, 2012, pág. 10)

El calor producido funde el metal base en la vecindad del arco y el metal de aporte, que en este caso sería el mismo electrodo. De esta manera se establece un baño de fusión o pileta líquida, que va solidificando a medida que el electrodo se mueve a lo largo de la junta, como podemos ver en la imagen. (Asta, 2012, pág. 10)

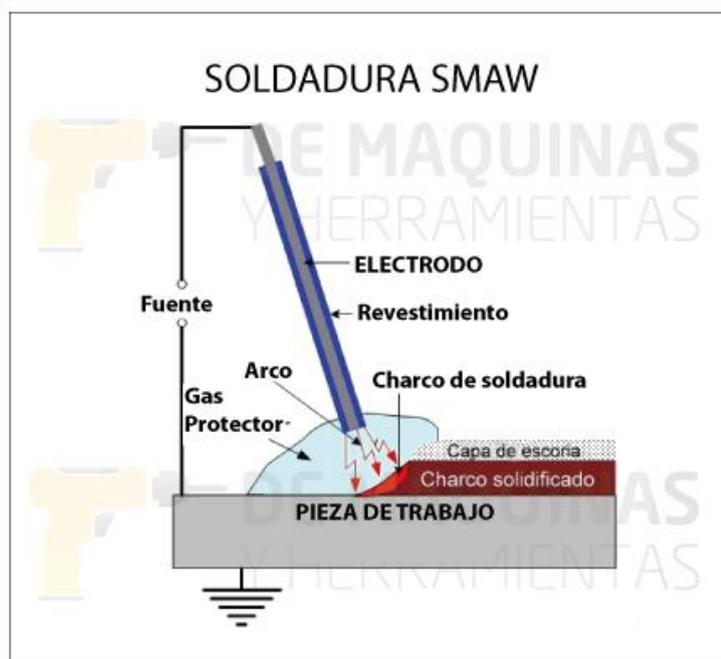


Figura 15: Soldadura SMAW

Fuente: (Giachino & Weeks, 2007)

En la soldadura manual la corriente de soldadura quedará fijada aproximadamente por el diámetro del electrodo y la tensión de trabajo por el largo del arco y por el tipo de revestimiento.

“La energía aplicada podrá modificarse de manera restringida mediante la variación de la velocidad de avance. Una reducida velocidad de avance (cordones anchos) provoca un mayor calentamiento local de la pieza (que en muchos casos puede ser beneficioso desde el punto de vista metalúrgico), en cambio una mayor velocidad de avance se traducirá en un menor aporte de energía y de calentamiento zonal (que en otros casos podrá ser indispensable ya sea desde el punto de vista

metalúrgico o bien para disminuir deformaciones). Variaciones involuntarias en el largo del arco (distancia electrodo-metal base) también implicarán variaciones en el calor aportado.” (Asta, 2012, pág. 10)



Figura 16: Soldadora Eléctrica

Fuente: (Lincoln Electric, 2015)

b. Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)

Utilizando el mismo tipo de equipamiento y principio de funcionamiento se ha desarrollado de manera importante una variante a la soldadura MIG-MAG; el proceso de soldadura semiautomática con alambre tubular (FCAW).

“El alambre tubular consiste en un tubo metálico que es rellenado con un fundente (flux) o polvo metálico. Muchos alambres tubulares son utilizados con protección gaseosa del tipo activa, tanto con dióxido de carbono puro como mezcla de argón con 15 a 20 % de CO₂.” (Asta, 2012, pág. 11)

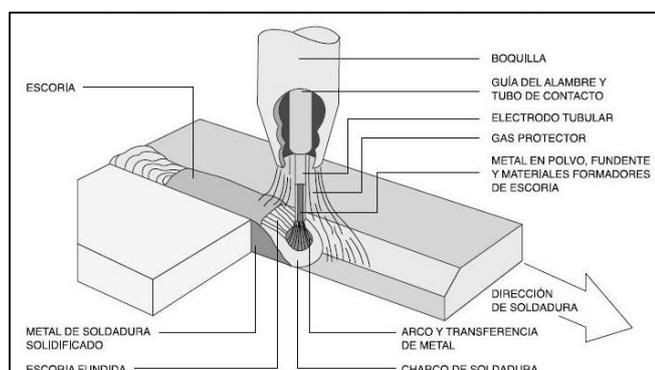


Figura 17: Soldadura FCAW

Fuente: (Ocaña, 2011)

c. Soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (GMAW)

El arco eléctrico se genera entre un alambre desnudo alimentado en forma continua y la pieza a soldar. La protección del arco se efectúa por medio de un gas que puede ser inerte (argón o helio) o activo (dióxido de carbono, CO₂). (Asta, 2012, pág. 12)

Al fundir el alambre se aporta al baño de fusión, por lo tanto debe tener una composición química tal que permita obtener las propiedades deseadas del cordón de soldadura y proveer, además, elementos desoxidantes que garanticen la calidad de dicho cordón. El CO₂, utilizado para soldar acero al carbono, debe cumplir con los siguientes requisitos: (Asta, 2012, pág. 12)

- Pureza mínima: 99,7%.
- Hidrógeno y nitrógeno máximo: 0,15%.
- Punto de rocío: -35°C.

El equipo utilizado en soldadura MIG-MAG o GMAW, requiere de un mayor número de elementos que los dos procesos precedentes, según el siguiente detalle:

- Una fuente de energía eléctrica de corriente continua, de tensión constante.
- Un devanador que alimente el alambre en forma continua.
- Consta de un mecanismo de tracción, compuesto por uno o dos pares de rodillos comandados por un motor eléctrico y una caja conductora.
- Una pistola, que recibe alambre a través de una manguera flexible.
- En el extremo inferior posee un tubo de contacto, donde el alambre es energizado con la corriente de soldadura proveniente de la fuente.
- Rodeando el tubo de contacto, una tobera de cobre encauza y dirige el gas protector.
- Un contactor permite gobernar la salida del alambre y el gas.
- Tubo de gas, con reductor de presión, precalentador (en caso de usar CO₂) y medidor de caudal.” (Asta, 2012, pág. 12)

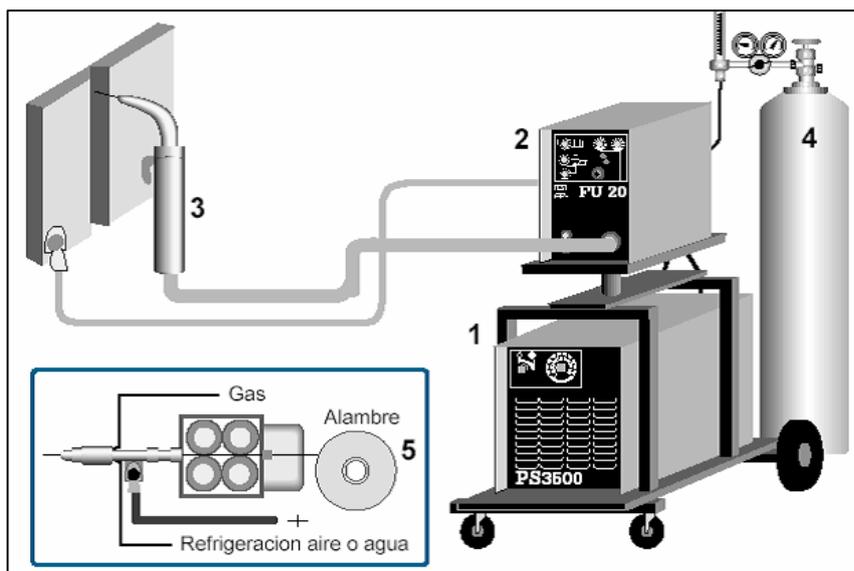


Figura 18: Diagrama Solda GMAW

Fuente: (Groover, 1997)

Ventajas y desventajas del proceso GMAW.

Ventajas:

- Ausencia de escoria.
 - Alimentación automática de hilo.
 - La gran densidad de corriente que admite.
 - Gran flexibilidad de regulación.
 - Reduce el tiempo y el coste de las operaciones.
 - No se requiere un operario tan experimentado como en otros procesos.
 - Se obtiene un alto rendimiento de soldeo con buena calidad.
 - Buena seguridad e higiene.
 - Evita impurezas en el baño fundido.
 - Versátil, debido a que es un proceso aplicable a una gama alta de materiales.
- (Giachino & Weeks, 2007)

Desventajas:

- El ambiente de soldadura no puede ser agitado, de lo contrario se pierde protección gaseosa.
- Tiene menos movilidad que el proceso SMAW.

- La gama de los materiales de aporte es limitada.
- Hay que aplicarlo correctamente, en caso contrario se corre el riesgo de tener una falta de fusión.
- El defecto de la porosidad es más frecuente en este proceso de soldadura. (Giachino & Weeks, 2007)

2.8.2. Parámetros de soldadura.

En este proceso de soldadura tipo GMAW, se aplican distintas variables dependiendo del espesor del material a soldar. Se establece que los siguientes parámetros son algunas de las variables del proceso GMAW que afectan la penetración de la soldadura, la geometría del cordón y la calidad del depósito de soldadura en toda su extensión: (Rengifo, 2009)

- Corriente de soldadura (velocidad de alimentación del electrodo).
- Polaridad.
- Voltaje de arco (longitud de arco).
- Velocidad de avance.
- Extensión del electrodo.
- Orientación del electrodo (ángulo de empuje o ángulo de arrastre).
- Posición de la junta a soldar.
- Diámetro del electrodo.
- Composición del gas de protección y flujo de salida del gas.

El conocimiento y el control de estas variables son esenciales para la producción de soldaduras consistentes y de calidad satisfactoria. Estas variables no son completamente independientes y el cambio en el valor de alguna de ellas generalmente requiere un cambio en alguna o en varias de las otras para producir los resultados esperados. Estos valores óptimos están afectados por el tipo de metal base, la composición del electrodo, la posición de soldadura y los requerimientos de calidad. (Rengifo, 2009)

a. Corriente de soldadura.

Cuando todas las otras variables se mantienen constantes, el amperaje de soldadura varía con la velocidad de alimentación del electrodo, en una relación no lineal. Cuando la velocidad de alimentación del electrodo varíe, el amperaje de soldadura variará en forma similar si se utiliza una fuente de potencia de voltaje constante. (Arteaga, 2007)

Tabla 6
Relación de amperaje en función del calibre del alambre.

| AMPERAJES RECOMENDADOS SEGÚN EL DIAMETRO DE LOS ALAMBRES PARA SOLDAR MIG/MAG | |
|--|----------------------|
| Dimensión | Amperaje recomendado |
| 0.76mm (0.030") | 60 – 160 A |
| 0.90mm (0.035") | 80 – 220 A |
| 1.02mm (0.040") | 90 – 280 A |
| 1.14mm (0.045") | 100 – 340 A |
| 1.6mm(0.62") | 250 – 500 A |

Fuente: (Llano Uribe, 2013)

b. Polaridad

Cuando el cable de la pistola se conecta al terminal positivo de la máquina, la polaridad es conocida como corriente directa electrodo positivo (DCEP), también conocida como polaridad invertida. La inmensa mayoría de las aplicaciones en GMAW utilizan polaridad invertida (DCEP). Esta condición proporciona un arco estable, una transferencia suave del metal de soldadura, salpicaduras relativamente bajas, buenas características del cordón de soldadura y una mayor profundidad de la penetración para un amplio rango de corrientes de soldadura. (Arteaga, 2007)

La polaridad directa; es decir, corriente continua electrodo negativo (DCEN), es raramente utilizada porque la transferencia por spray axial no es posible.

Con los aceros, la transferencia puede ser mejorada adicionando un porcentaje mínimo del 5% de oxígeno al argón de protección (requerido en aleaciones especiales para compensar las pérdidas por oxidación) o mediante tratamiento del

alambre para hacerlo termoiónico, lo cual incrementa el costo del metal de aporte. (Arteaga, 2007)

c. Voltaje de arco (longitud de arco)

Los términos voltaje de arco y longitud de arco son a menudo utilizados indistintamente. La verdad es que estos términos son diferentes aun cuando efectivamente están relacionados. En el proceso GMAW la longitud de arco es una variable crítica que debe ser cuidadosamente controlada. Por ejemplo, en la transferencia por spray con protección de argón, un arco que sea demasiado corto experimenta cortos circuitos momentáneos. Estos cortocircuitos causan fluctuaciones de presión que bombean aire hacia el chorro del arco, produciendo porosidad y pérdida de ductilidad por el nitrógeno absorbido. (Arteaga, 2007)

Si el arco fuese demasiado largo, éste tiende a desviarse, afectando tanto la penetración como el perfil de la cara de soldadura. Un arco largo también puede interrumpir el gas de protección. En el caso de arcos enterrados con una protección de dióxido de carbono, un arco largo genera excesivas salpicaduras así como porosidad. Si el arco es demasiado corto, la punta del electrodo entra en corto circuito con el charco de soldadura causando inestabilidad.

La longitud del arco es la variable independiente. El voltaje de arco depende de la longitud del arco, así como de muchas otras variables tales como: la composición y dimensiones del electrodo, el gas de protección, la técnica de soldadura, y dado que a menudo se mide en la fuente de potencia, incluso la longitud del cable de soldadura. (Arteaga, 2007)

d. Velocidad de avance

La velocidad de avance o de desplazamiento es la tasa de movimiento lineal del arco a lo largo de la junta a soldar. Con todas las otras condiciones constantes, la penetración de la soldadura es máxima con una velocidad de avance intermedia. Cuando se reduce la velocidad de avance, se aumenta la deposición del metal de aporte por unidad de longitud.

A velocidades muy bajas, el arco de soldadura actúa más en el charco de metal de soldadura que sobre el metal base, con lo que se reduce la penetración efectiva. Esta condición también produce un cordón de soldadura más ancho.

En la medida en que se aumenta la velocidad de avance, la cantidad de energía térmica por unidad de longitud de soldadura transferida desde el arco hacia el metal base, al principio aumenta debido a que el arco actúa directamente sobre el metal base. Con un aumento adicional en la velocidad de avance, se transferirá hacia el metal base menos energía térmica por unidad de longitud de soldadura. (Arteaga, 2007)

e. Extensión del electrodo

La extensión del electrodo es la distancia entre el extremo de la boquilla de contacto y la punta del electrodo.

Cuando se aumenta la extensión del electrodo se produce un aumento en su resistencia eléctrica. El calentamiento por resistencia, a su vez hace que la temperatura del electrodo se eleve, lo que resulta en un pequeño incremento de fusión del electrodo. En general, la mayor resistencia eléctrica produce una caída de voltaje mayor entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo.

La extensión del electrodo deseable está generalmente entre $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (6 a 12 mm) para la transferencia por corto circuito y de $\frac{1}{2}$ " a 1" (12 a 25 mm) para la transferencia por spray. (Arteaga, 2007)

f. Orientación del electrodo

Este efecto sobre el cordón de soldadura es mayor que el voltaje de arco o la velocidad de avance. La orientación del electrodo se describe de dos maneras: por la relación entre el eje del electrodo y la dirección de desplazamiento (ángulo de desplazamiento), y con el ángulo entre el eje del electrodo y la superficie de la pieza de trabajo (ángulo de trabajo). Cuando el electrodo apunta en la dirección opuesta a la del desplazamiento, la técnica se denomina soldadura de revés con ángulo de arrastre. En la Figura 1.21 se puede visualizar el ángulo correcto de trabajo empleado en el proceso de soldadura GMAW. (Arteaga, 2007)

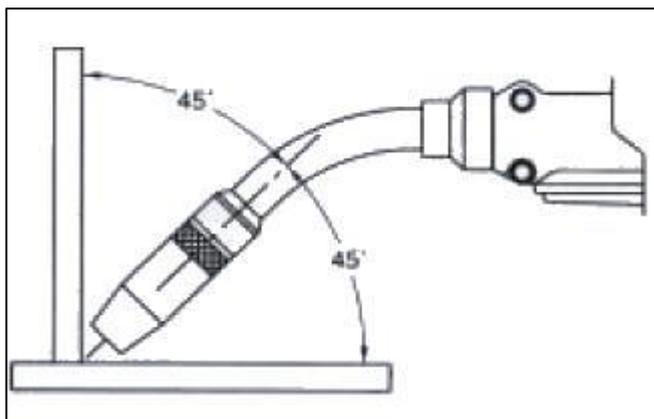


Figura 19: Ángulo correcto de trabajo.

Fuente: (Llano Uribe, 2013)

2.8.3. Diseño y cálculo del cordón de soldadura y resistencia de diseño

El diseño y cálculo del cordón resulta por medio de soldadura en ángulo, dependerá de la geometría de la unión a resolver así como de los esfuerzos a transmitir por parte de los cordones dispuestos. (Aratec, 2011)

a. Cálculo del cordón de soldadura

El cálculo de los cordones de soldadura para las uniones de estructuras de acero consiste en determinar el espesor de garganta (a) y la longitud de los mismos.

Garganta (a). Es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas a unir y es inscribible en la sección transversal de la soldadura. (Guardiola VÍllora, 2010)

Longitud (l). A la longitud real de la soldadura menos los cráteres extremos. Se admite que la longitud de cada cráter es igual a la garganta. (Guardiola VÍllora, 2010)

Las soldaduras de filete son más resistentes a la tracción y a la compresión, este tipo de soldadura falla por corte en un ángulo de aproximadamente 45 grados a través de la garganta.

La dimensión efectiva de la garganta de una soldadura de filete es, nominalmente, la distancia más corta desde la raíz a la cara de la soldadura. Si se asume que la

soldadura de filete tiene lados iguales de tamaño nominal w , la garganta efectiva es igual a. (Guardiola Vllora, 2010)

$$t_e = 0,707 \cdot w$$

Para cordones de soldadura con el tamaño nominal menor o igual a $3/8''$ (10 mm), la dimensión efectiva de la garganta se tomará igual al tamaño nominal w .

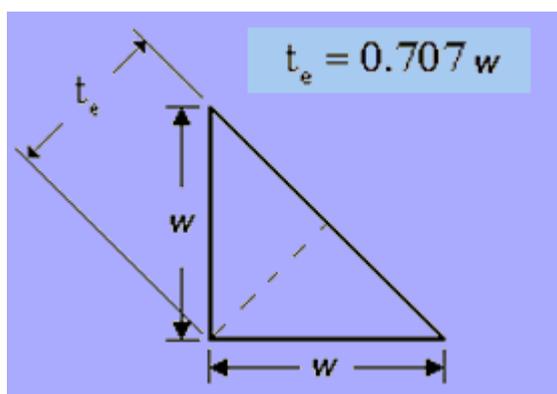


Figura 20: Dimensión efectiva de garganta menor o igual a $3/8''$

Fuente: (Félix, 2011)

Para cordones con tamaño nominal mayor que $3/8''$ la dimensión efectiva de la garganta se tomará como $0.707w + 2.8 \text{ mm}$ (0.11 in).

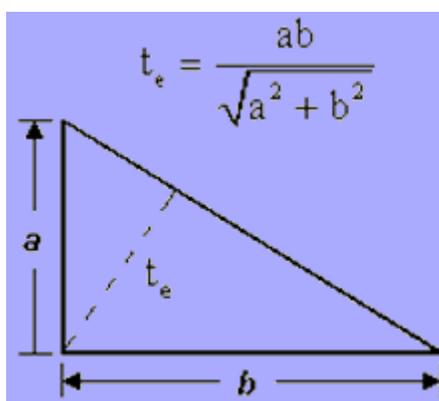


Figura 21: Dimensión efectiva de garganta mayor que $3/8''$.

Fuente: (Félix, 2011)

En la siguiente tabla se muestran los valores de la garganta de una soldadura en ángulo en una unión de fuerza.

Tabla 7
Valores límite de garganta de una soldadura en ángulo

| VALORES LÍMITE DE LA GARGANTA DE UNA SOLDADURA EN ÁNGULO EN UNA UNIÓN DE FUERZA | | |
|---|-------------------|-------------------|
| Espesor de la pieza (mm) | Garganta a | |
| | Valor máximo (mm) | Valor mínimo (mm) |
| 4.0-4.2 | 2.5 | 2.5 |
| 4.3-4.9 | 3 | 2.5 |
| 5.0-5.6 | 3.5 | 2.5 |
| 5.7- 6.3 | 4 | 2.5 |
| 6.4- 7.0 | 4.5 | 2.5 |
| 7.1-7.7 | 5 | 3 |
| 7.8-8.4 | 5.5 | 3 |
| 8.5-9.1 | 6 | 3.5 |
| 9.2-9.9 | 6.5 | 3.5 |
| 10.0-10.6 | 7 | 4 |
| 10.7-11.3 | 7.5 | 4 |
| 11.4-12.0 | 8 | 4 |
| 12.1-12.7 | 8.5 | 4.5 |
| 12.8-13.4 | 9 | 4.5 |
| 13.5-14.1 | 9.5 | 5 |
| 14.2-15.5 | 10 | 5 |
| 15.6-16.9 | 11 | 5.5 |
| 17.0-18.3 | 12 | 5.5 |
| 18.4-19.7 | 13 | 6 |
| 19.8-21.2 | 14 | 6 |
| 21.3-22.6 | 15 | 6.5 |
| 22.7-24.0 | 16 | 6.5 |
| 24.1-25.4 | 17 | 7 |
| 25.5-26.8 | 18 | 7 |
| 26.9-28.2 | 19 | 7.5 |
| 28.3-31.1 | 20 | 7.5 |
| 31.2-33.9 | 22 | 8 |
| 34.0-36.0 | 24 | 8 |

Fuente: (Gabriel, 2006)

La resistencia de este tipo de soldaduras por unidad de longitud del cordón, es igual al producto de la dimensión de la garganta efectiva de la soldadura, multiplicada por la longitud del cordón y por la resistencia de diseño que aparece relacionada en la tabla. (Guardiola Vállora, 2010)

Tabla 8
Resistencia de diseño de soldadura.

| <i>Tipo de Soldadura y esfuerzo (a)</i> | <i>Material</i> | <i>Coef. de Resist.</i> | <i>Resistencia Nominal de la soldadura</i> | <i>Nivel Requerido (b,c)</i> |
|---|-----------------|-------------------------|--|--|
| <i>Soldadura de garganta de penetración total</i> | | | | |
| Tensión normal al área efectiva | Base | 0.90 | F_y | Usar soldadura "compatible" |
| Compresión normal a área efectiva | Base | 0.90 | F_y | Se puede utilizar soldadura con nivel de resistencia igual o menor al de la soldadura "compatible" |
| Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura | | | | |
| Cortante en el área efectiva | Base | 0.90 | $0.60F_y$ | |
| | Electrodo | 0.80 | $0.60F_{EXX}$ | |
| <i>Soldadura de garganta de penetración parcial</i> | | | | |
| Compresión normal a área efectiva | Base | 0.90 | F_y | Se puede usar soldadura con nivel de resistencia igual o menor al de la soldadura "compatible" |
| Tensión o compresión paralelas al eje de la soldadura (d) | | | | |
| Cortante paralelo al eje de la soldadura | Base | 0.75 | (e) | |
| | Electrodo | | $0.60F_{EXX}$ | |
| Tensión normal al área efectiva | Base | 0.90 | F | |
| | Electrodo | 0.80 | $0.60F_{XEE}$ | |
| <i>Soldadura de filete</i> | | | | |
| Cortante en el área efectiva | Base | 0.75 | (f) | Se puede usar soldadura con nivel de resistencia igual o menor al de la "compatible" |
| | Electrodo | | $0.60F_{XEE}$ | |
| Tensión o compresión paralelas al eje de lo soldadura (d) | Base | 0.90 | F_y | |
| <i>Soldadura de tapón o ranura</i> | | | | |
| Cortante paralelo a las superficies de contacto (en el área efectiva) | Base | 0.75 | (c) | Se puede usar soldadura con nivel de resistencia igual o menor al de la "compatible" |
| | Electrodo | | $0.60F_{XEE}$ | |

Fuente: (Gabriel, 2006)

$$\text{Resistencia de diseño} = f \cdot A_w \cdot F_w$$

Donde,

f = coeficiente de resistencia.

A_w = Espesor de la garganta.

F_w = Resistencia de diseño por la longitud del cordón (0,6. S_y).

2.8.4. Tipos de uniones para perfiles estructurales

Existen diferentes formas de disponer las uniones de soldaduras para perfiles, teniendo en cuenta la forma geométrica. A continuación se muestran los diferentes tipos de uniones soldadas existentes.

a. Uniones en prolongación (empalmes)

Para los perfiles tubulares las uniones en prolongación se hace principalmente mediante soldaduras a tope, este método es sencillo.

El objetivo es alcanzar la carga mayor aplicada, la resistencia total de la barra más débil obteniendo la penetración adecuada de la soldadura, para esto hay que seleccionar de manera correcta el electrodo apropiado, con respecto al acero utilizado. (Aratec, 2011)

b. Uniones soldadas en ángulo recto

Existen dos tipos fundamentales de nudos soldados en ángulo recto (90 grados de inclinación):

- Nudo en ángulo recto simple.
- Nudo en ángulo recto con una placa rígida transversal.

Los nudos soldados en ángulo recto también se pueden hacer con perfiles tubulares circulares.

Las principales configuraciones geométricas de nudos en ángulo recto con una placa rígida transversal son:

- Nudo en T o en Y.
- Nudo en X.
- Nudo en N o en K.
- Nudo en KT.

Se puede hacer otra clasificación más para nudos en N, K, y KT basándose en el espaciamiento entre bordes de las barras de relleno y el recubrimiento parcial o total de las barras de relleno. En la siguiente imagen se puede observar los diferentes tipos de uniones soldadas planas. (Aratec, 2011)

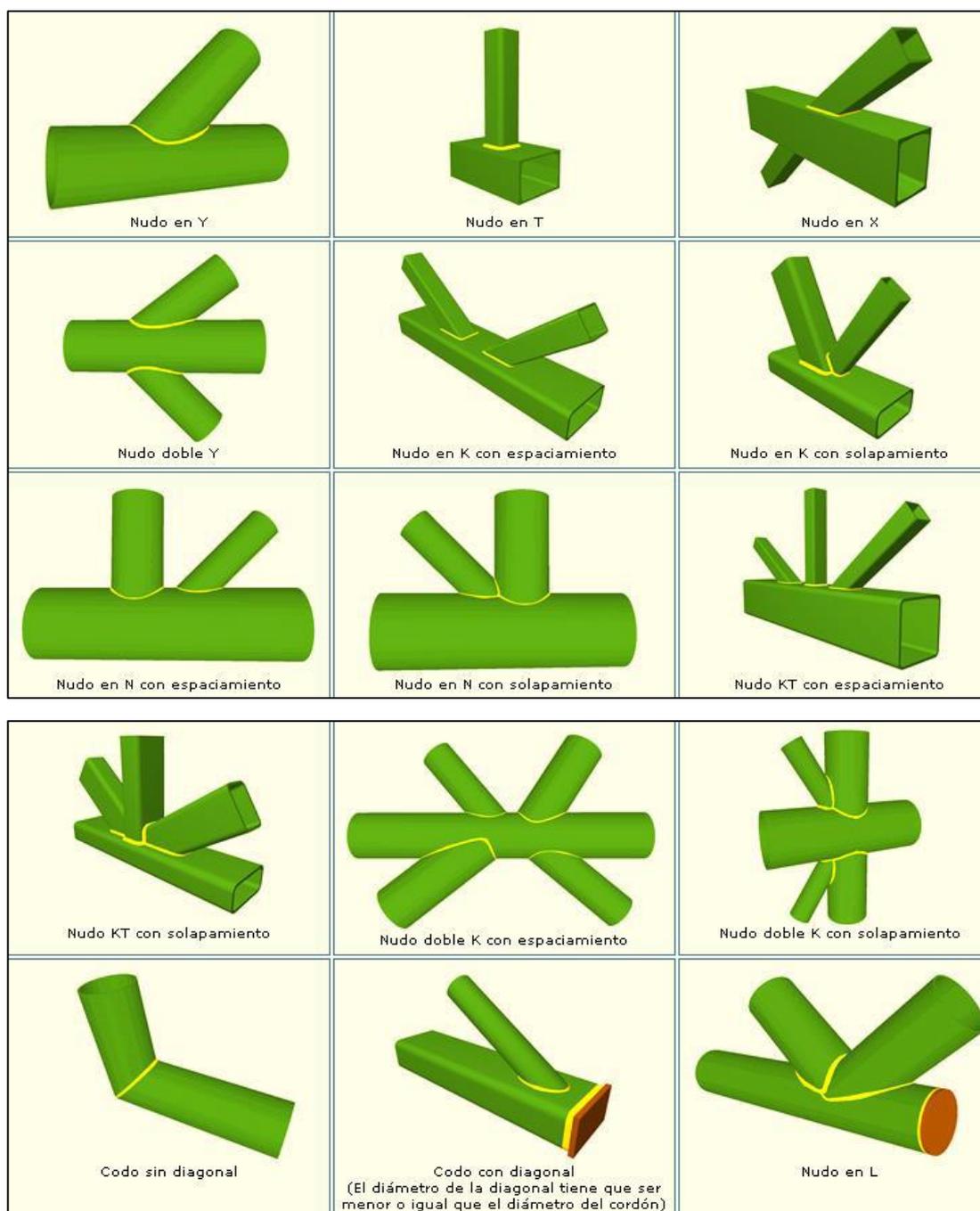


Figura 22: Diferentes tipos de uniones soldadas planas

Fuente: (Asta, 2012)

Las barras de nudos de perfiles tubulares, se sueldan directamente entre ellas aplicando soldaduras a tope de penetración parcial o total. La sección del tipo de soldadura depende principalmente del ángulo de inclinación y de la barra de relleno con respecto al cordón. Las uniones de los nudos de perfiles tubulares soldados directamente se hacen con soldadura en ángulo o una combinación de soldadura en ángulo y a tope. (Aratec, 2011)

2.8.5. Secuencias y posiciones para la soldadura de perfiles estructurales

Es importante considerar dos puntos principales previo a la soldadura:

- Para los espesores pequeños de secciones tubulares, se deben evitar en lo posible, las soldaduras con varias pasadas.
- Hay que seguir las secuencias de soldadura apropiadas, de lo contrario afectan en gran medida a la contracción, a las tensiones residuales y la deformación de la estructura soldada.

Dependiendo de la posición y de la movilidad de los elementos estructurales, se muestran a continuación cuatro posiciones para soldar en nudos de perfiles tubulares estructurales, junto con las secuencias de soldadura. (Mancheño Perez & Fernández López, 2012)

Soldadura circular de 360°. Se hace la soldadura hacia abajo (plana), mientras la sección gira 360°.

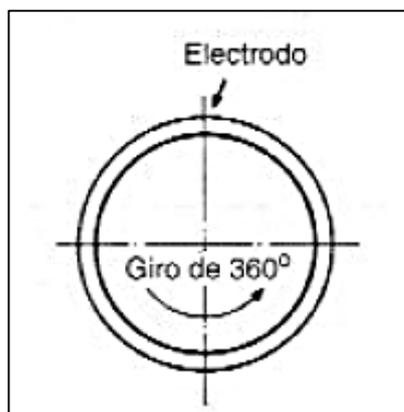


Figura 23: Soldadura circular de 360°.

Fuente: (Asta, 2012)

Soldadura vertical ascendente de 180°. Todas las soldaduras se hacen en la parte superior y después el panel gira sobre sí mismo (180°) para completar la operación. (Mancheño Perez & Fernández López, 2012)

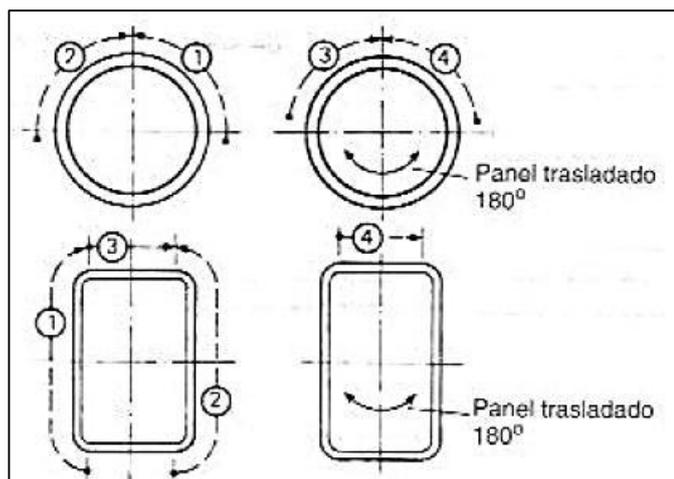


Figura 24: Soldadura vertical ascendente de 180°

Fuente: (Asta, 2012)

Soldadura vertical ascendente. Los perfiles tubulares no se pueden mover.

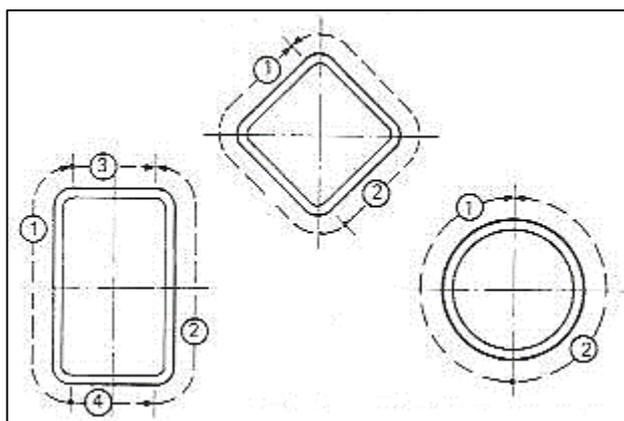


Figura 25: Soldadura vertical ascendente

Fuente: (Asta, 2012)

Soldadura horizontal. Esta posición es necesaria cuando las barras están en posición vertical y no se pueden mover. Si las barras se encuentran en posición horizontal, las soldaduras se hacen en posición vertical. (Mancheño Perez & Fernández López, 2012)

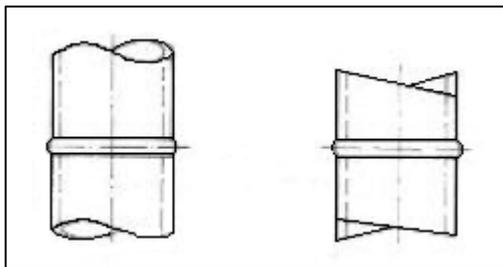


Figura 26: Soldadura horizontal.

Fuente: (Asta, 2012)

2.8.6. Punteado de la soldadura.

El punteado de la soldadura es una soldadura corta hecha para la unión preliminar de las barras de perfil tubular de una estructura, obteniendo una sujeción temporal previa a la soldadura definitiva del montaje. “El espesor de la garganta del punteado de soldadura tiene que estar de acuerdo con la posición de la raíz. Éste, debe garantizar una unión limpia en la raíz de la soldadura. Los extremos de los puntos de soldadura deben estar correctamente ejecutados para obtener una buena fusión en el cordón de la raíz. (Andrade , 2009)

Se tienen que llevar a cabo con mucho cuidado, puesto que los puntos de soldadura se convierten en parte de la soldadura definitiva. Por eso los soldadores precisan de una clasificación especial para hacer trabajos de punteado de la soldadura.” (Andrade , 2009)

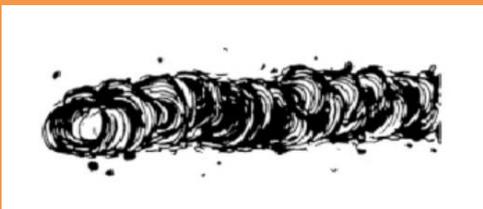
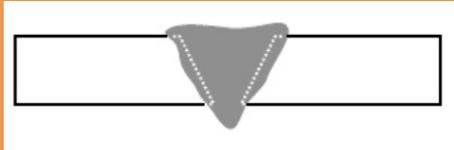


Figura 27: Punteado de Soldadura.

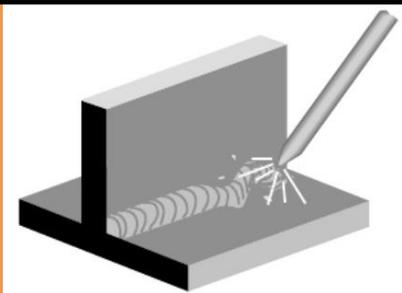
2.8.7. Problemas y defectos comunes en la soldadura de arco

Dentro del proceso de soldadura pueden existir problemas y defectos del mismo, razón por la cual a continuación se detallan los más comunes.

Tabla 9
Problemas y defectos en la soldadura

| DEFECTOS | CAUSAS Y SOLUCIONES |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">Mal Aspecto</p>  | <p>Causas probables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conexiones defectuosas • Recalentamiento • Electrodo Inadecuado • Longitud de arco y amperaje inadecuado <p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar el recalentamiento • Usar un vaivén uniforme • Evitar usar una corriente demasiado alta |
| <p style="text-align: center;">Penetración Excesiva</p>  | <p>Causas probables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corriente muy elevada • Posición inadecuada del electrodo <p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la intensidad de la corriente • Mantener el electrodo a un ángulo que facilite el llenado del bisel |
| <p style="text-align: center;">Salpicadura Excesiva</p>  | <p>Causas probables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corriente muy elevada • Arco muy largo • Soplo magnético excesivo <p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la intensidad de la corriente • Acortar el arco • Ver lo indicado para “Arco desviado o soplado” |
| <p style="text-align: center;">Arco Desviado</p> | <p>Causas probables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El campo magnético generado por la C.C. que produce la desviación del arco (soplo magnético) <p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usar C.A. • Contrarrestar la desviación del |

CONTINÚA 



Soldadura Porosa



Soldadura Agrietada



Combadura



arco con la posición del electrodo, manteniéndolo a un ángulo apropiado

- Usar un banco de trabajo no magnético
- Cambiar de lugar la grampa de tierra.

Causas probables:

- Arco corto
- Corriente inadecuada
- Electrodo defectuoso

Recomendaciones:

- Averiguar si hay impurezas en el metal base
- Usar corriente adecuada
- Usar un electrodo adecuado para el trabajo
- Mantener el arco mas largo

Causas probables:

- Electrodo inadecuado
- Falta de relación entre tamaño de la soldadura y las piezas que se unen
- Mala preparación

Recomendaciones:

- Precalear las piezas
- Evitar las soldaduras con primeras pasadas
- Soldar desde el centro hacia los extremos o bordes
- Seleccionar un electrodo adecuado
- Dejar en las uniones una separación adecuada y uniforme

Causas probables:

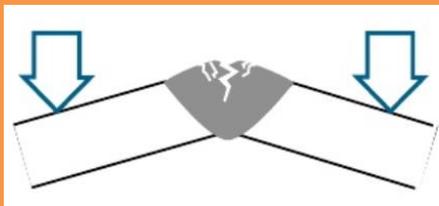
- Diseño inadecuado
- Contracción del metal de aporte
- Sujeción defectuosa de las piezas
- Recalentamiento en la unión

Recomendaciones:

- Corregir el diseño
- Martillar los bordes de la unión antes de soldar
- Aumentar la velocidad de trabajo (avance)
- Fijar las piezas adecuadamente

CONTINÚA ➡

Soldadura Quebradiza



- Usar electrodos de alta velocidad y moderada penetración

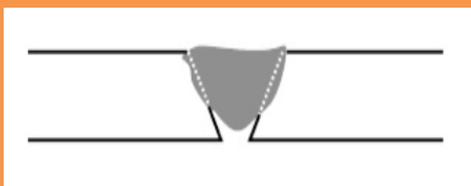
Causas probables:

- Electrodo inadecuado
- Tratamiento térmico deficiente
- Soldadura endurecida al aire
- Enfriamiento brusco

Recomendaciones:

- Calentar antes o después de soldar o en ambos casos
- Procurar poca penetración dirigiendo el arco hacia el cráter
- Asegurar un enfriamiento lento

Penetración Incompleta

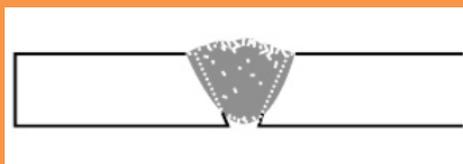
**Causas probables:**

- Velocidad Excesiva
- Electrodo de ϕ excesivo
- Corriente muy baja
- Electrodo de ϕ pequeño

Recomendaciones:

- Usar una corriente adecuada. Soldar con lentitud necesaria para lograr buena penetración de raíz
- Velocidad adecuada
- Elegir un electrodo de acuerdo con el tamaño del bisel

Fusión Deficiente

**Causas probables:**

- Calentamiento desigual o irregular
- Contracción del metal de aporte
- Orden (secuencia) inadecuado de operación

Recomendaciones:

- Puntear la unión o sujetar las piezas con prensa
- Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme
- Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo

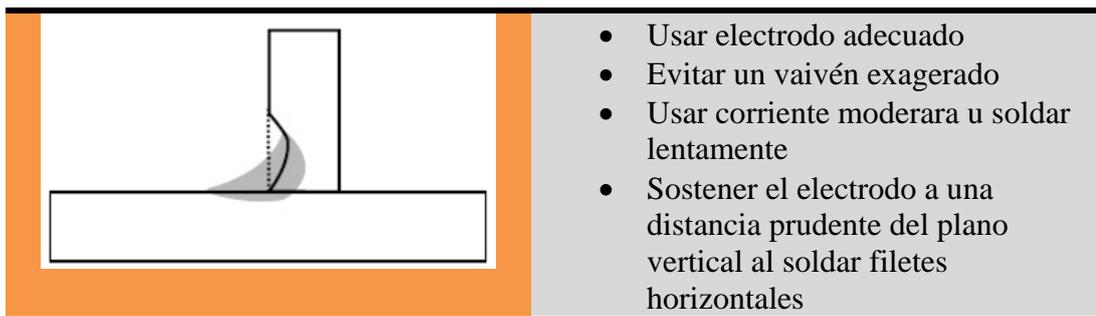
Socavado

Causas probables:

- Manejo defectuoso del electrodo
- Selección inadecuada del tipo de electrodo
- Corriente muy elevada

Recomendaciones:

- Usar vaivén uniforme en las soldaduras de tope



Fuente: (Indura, 2014)

2.9. Sistemas CAD-CAM-CAE.

2.9.1. CAD/ Diseño asistido por computador.

La tecnología CAD se dirige a los centros técnicos y de diseño del sector metalmeccánico. El uso de la tecnología CAD supone para el diseñador un cambio en el medio de plasmar el modelado de la geometría de los diseños industriales. (Siemens, 2015)

El computador, al que se le incorpora un programa de CAD, le permite crear, manipular y representar productos en dos y tres dimensiones, con el CAD el modelo puede aparecer en la pantalla como una imagen realista, en movimiento, y observable desde distintos puntos de vista. (Siemens, 2015)

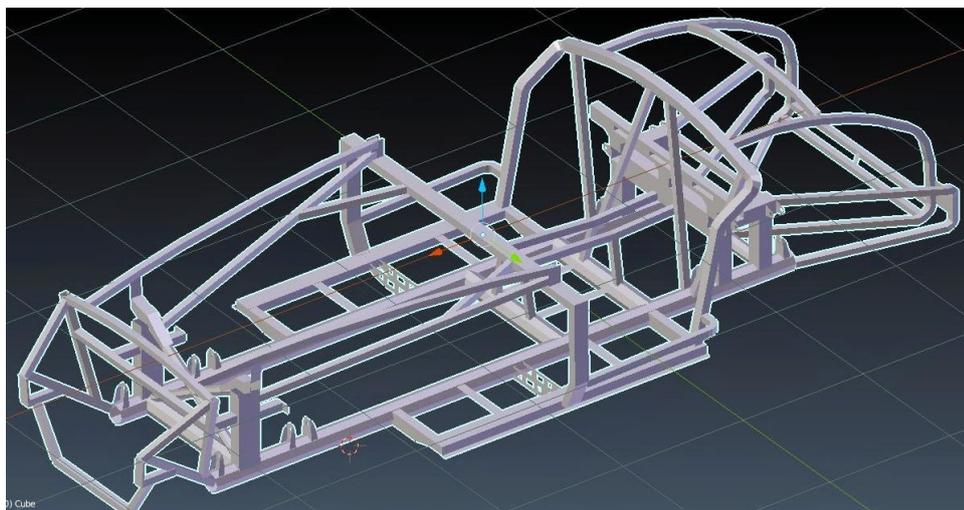


Figura 28: Modelado de un bastidor

Fuente: (Roller, 2011)

Se pueden visualizar detalles del modelo, comprobar colisiones entre piezas, interferencias, consultar sobre distancias, pesos, inercias, entre otros. En conclusión,

se optimiza el proceso de creación de un nuevo producto reduciendo costes, ganando calidad y disminuyendo el tiempo de diseño.

2.9.2. CAM/ Manufactura asistidos por computadora.

A partir de la información de la geometría de la pieza, la tecnología del CAM permite generar programas de NC para maquinado sin necesidad de desarrollar el programa con códigos de lenguaje de programación NC anteriormente mencionado y partiendo del diseño de la pieza, se puede desarrollar el proceso de manufactura incluyendo la simulación del maquinado, de esta manera obtener prototipos, los cuales se utilizan básicamente para verificar la bondad de las superficies creadas cuando éstas son críticas. “Desde el punto de vista de la ingeniería concurrente es posible empezar el diseño y fabricación de parte del molde simultáneamente al diseño de la pieza que se quiere obtener con el molde.” (Martinez, 2010, pág. 12)



Figura 29: CAD/CAM

Fuente: (Martinez, 2010)

2.9.3. CAE / Ingeniería asistida por computadora

Bajo el nombre de ingeniería asistida por computador se agrupan habitualmente tópicos tales como los del CAD y la creación automatizada de dibujos y documentación. Es necesario pasar la geometría creada en el entorno CAD al sistema CAE. En el caso en que los dos sistemas no estén integrados, ello se lleva a término mediante la conversión a un formato común de intercambio de información gráfica.

Sin embargo, el concepto de CAE, asociado a la concepción de un producto y a las etapas de investigación y diseño previas a su fabricación, sobre todo cuando ésta última es asistida o controlada mediante computador, se extiende cada vez más hasta incluir progresivamente a la propia fabricación. Se puede decir, por tanto, que la CAE es un proceso integrado que incluye todas las funciones de la ingeniería que van desde el diseño propiamente dicho hasta la fabricación. (Siemens, 2013)

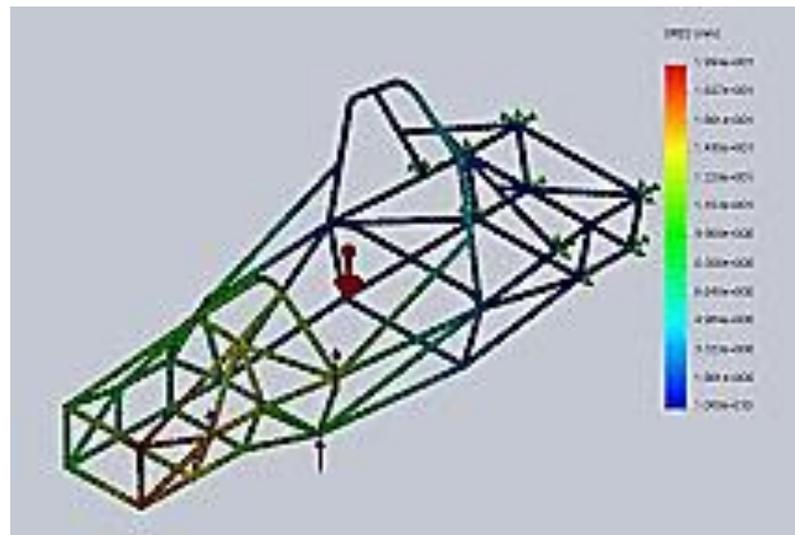


Figura 30: Modelo analizado en software CAE.

Fuente: (PROYECTO FSAE UTP, 2011)

Beneficios de CAE. Los beneficios de software de tipo CAE incluyen reducción del tiempo y costo de desarrollo de productos, con mayor calidad y durabilidad del producto.

- “Las decisiones sobre el diseño se toman con base en el impacto del desempeño del producto.
- Los diseños pueden evaluarse y refinarse utilizando simulaciones computarizadas en lugar de hacer pruebas a prototipos físicos, ahorrando tiempo y dinero.
- Aplicaciones CAE brindan conocimientos sobre el desempeño más temprano en el proceso de desarrollo, cuando los cambios al diseño son menos costosos de hacer.
- Aplicaciones CAE apoyan a los equipos de ingeniería a administrar riesgos y comprender las implicaciones en el desempeño de sus diseños.

- Los datos integrados y la gestión del proceso del CAE amplían la capacidad de balancear con eficacia los conocimientos del funcionamiento mientras se mejoran los diseños para una comunidad más amplia.
- La exposición de garantía es reducida al identificar y eliminar problemas potenciales. Cuando integrado al producto y desarrollo de la manufactura, CAE puede facilitar desde etapas tempranas la resolución de problemas, lo que puede reducir dramáticamente los costos asociados al ciclo de vida del producto.” (Siemens, 2013)

2.9.4 Software CAE.

ANSYS. Es un software completo de simulación de ingeniería (CAE), es una herramienta de cálculo por elementos finitos orientado al diseño que permite solucionar varios problemas; como estudios mecánicos, que incluye análisis de estructuras dinámicas y estáticas, aerodinámicas y entre otras opciones, obteniendo resultados con una alta exactitud y fiabilidad. Los productos y conocimiento de las aplicaciones de ANSYS ayudarán a entender y optimizar el rendimiento del producto diseñado mucho antes de que un prototipo se haya construido. (Grupo Carman, 2014)

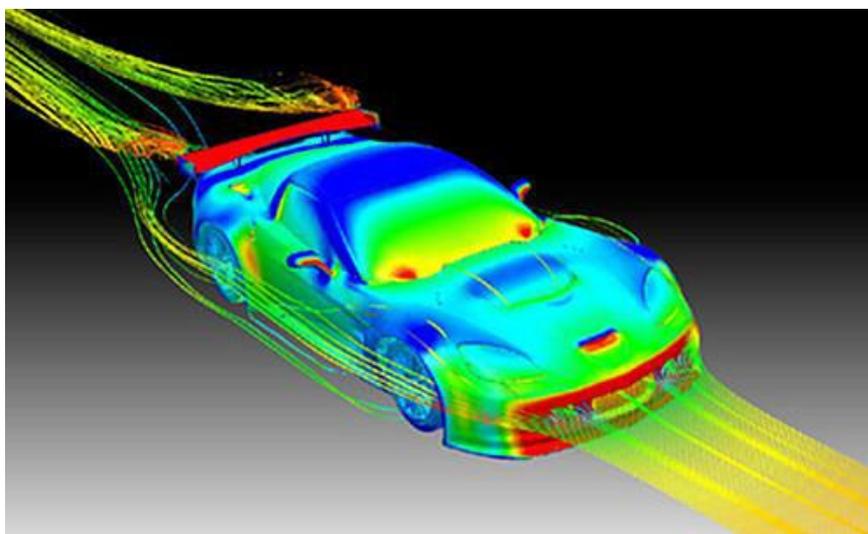


Figura 31: Análisis aerodinámico en ANSYS

Fuente: (Plaza, 2009)

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR

El diseño consiste en un proceso el cual establece soluciones eficaces para definir un bastidor de tal forma que satisfaga requisitos y restricciones definidas por los usuarios, estructura la cual se fabricara y posteriormente se evaluara.

3.1. Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas son parámetros fundamentales para el proceso de diseño, a través de un método sistemático se realiza la representación de cada detalle en la tabla 10

Tabla 10
Especificaciones técnicas

| CONCEPTO | PROPONE | R/D | DESCRIPCIÓN |
|-----------|---------|-----|---|
| FUNCIÓN | C | R | Bastidor seguro en cualquier condición de funcionamiento. |
| | C | R | Bastidor accesible para los usuarios |
| | I | R | El bastidor rígido |
| | I | R | Sujeciones de los componentes en la base de la estructura |
| DIMENSIÓN | C+I | R | Liviano |
| | I | R | Geometría del bastidor optimizada. |
| | C | R | Suficiente para el usuario |
| ENSAMBLE | C | D | Acceso fácil para cada sistema y componente que los conforman |
| FUERZAS | I | R | Resista cargas extremas |
| | I | R | Correcta distribución y ubicación de cargas |

CONTINÚA 

| | | | |
|-------------------|---|---|--|
| MATERIALES | I | R | Resistan las cargas máximas determinadas y analizadas |
| | C | R | Existente en el mercado |
| SEGURIDAD | I | R | Proveer de protección al conductor |
| | I | R | Factor de seguridad adecuado para sistemas mecánicos y estructuras |
| VIDA ÚTIL | C | R | Durabilidad indefinida del bastidor |
| COSTES | C | D | Costos bajos de fricción |

C = Cliente - I = Ingeniería - R = Requerimiento - D = Deseo

3.2. Selección de alternativas.

La solución debe ser objetiva y lógica, que satisfaga los requerimientos, restricciones y especificaciones técnicas, a través del análisis de diversas alternativas se analizará factores primordiales para establecer la elección apta para el bastidor de esta forma se lograra desarrollar el mejor desempeño del mismo, en la figura 32 se representan las alternativas a ser analizadas.

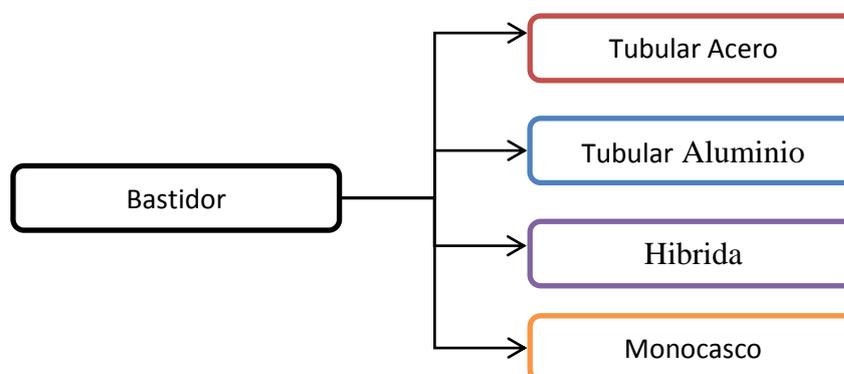


Figura 32: Planteamiento de alternativas

3.3. Matrices de selección.

Las alternativas deben ser evaluadas con el mejor criterio, de esta forma se determinara la solución más factible y eficaz, mediante el proceso de ponderación y elección se realiza una matriz de evaluación en la cual se analizan los factores más significativos a través de un factor de ponderación el cual va de 0 – 1 y una calificación la cual va de 1 min a 10 máx. El producto entre el factor de ponderación

y la calificación establece la ponderación respectiva de cada parámetro, como se representa en la tabla 11.

Tabla 11
Matriz de selección del bastidor

| Parámetros | Tubular Acero | Tubular Aluminio | Hibrida | Monocasco |
|--------------------|---------------|------------------|---------|-----------|
| Seguro | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Liviano | 6 | 8 | 9 | 10 |
| | 0.20 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Fácil de construir | 10 | 7 | 6 | 5 |
| | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| Adquisición | 10 | 6 | 5 | 3 |
| | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Costo | 10 | 6 | 5 | 3 |
| | 0.25 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Σ | 8.45 | 7.1 | 7.1 | 6.7 |

Al ponderar los factores en la matriz de selección, la alternativa más ideal es el desarrollo de un bastidor tubular de acero.

3.4. Proceso de modelado.

A través de sistemas informáticos como herramientas de soporte se realiza el proceso de modelado del bastidor o CAD, el diseño asistido por computador es la disciplina que se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costes y acortar los tiempos de diseño y producción.

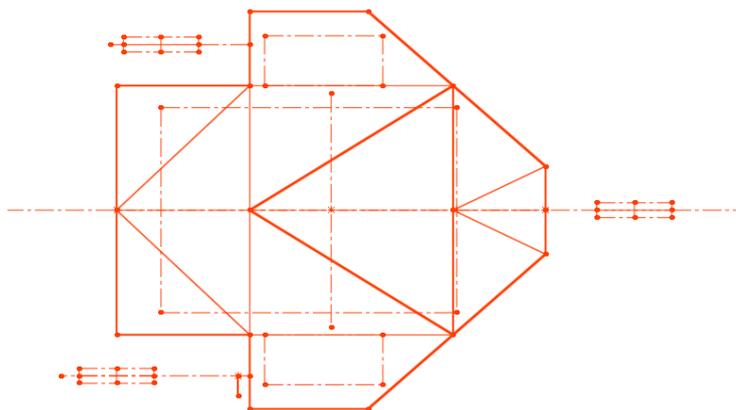


Figura 33: Boceto en 2D del bastidor

El modelado geométrico define la forma matemática y analítica del bastidor, el cual parte de un modelo geométrico a base de comandos que crean líneas, superficies, cuerpos, dimensiones y texto, los cuales producen una representación exacta en dos y tres dimensiones del bastidor.

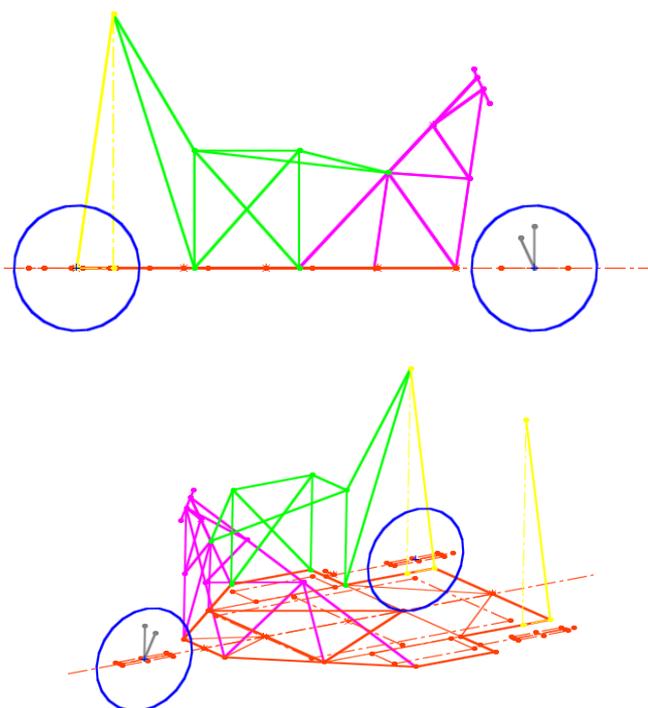


Figura 34: Modelado Geométrico del Bastidor

El análisis y optimización en el diseño del bastidor se realiza después de haber determinado las propiedades geométricas, se analiza el modelo virtual para rectificar que no haya errores en el modelado como dimensiones, formas, además se comprueba si existen interferencias entre componentes de la estructura los cuales

impedirán su correcto funcionamiento en la etapa de análisis de las propiedades físicas.

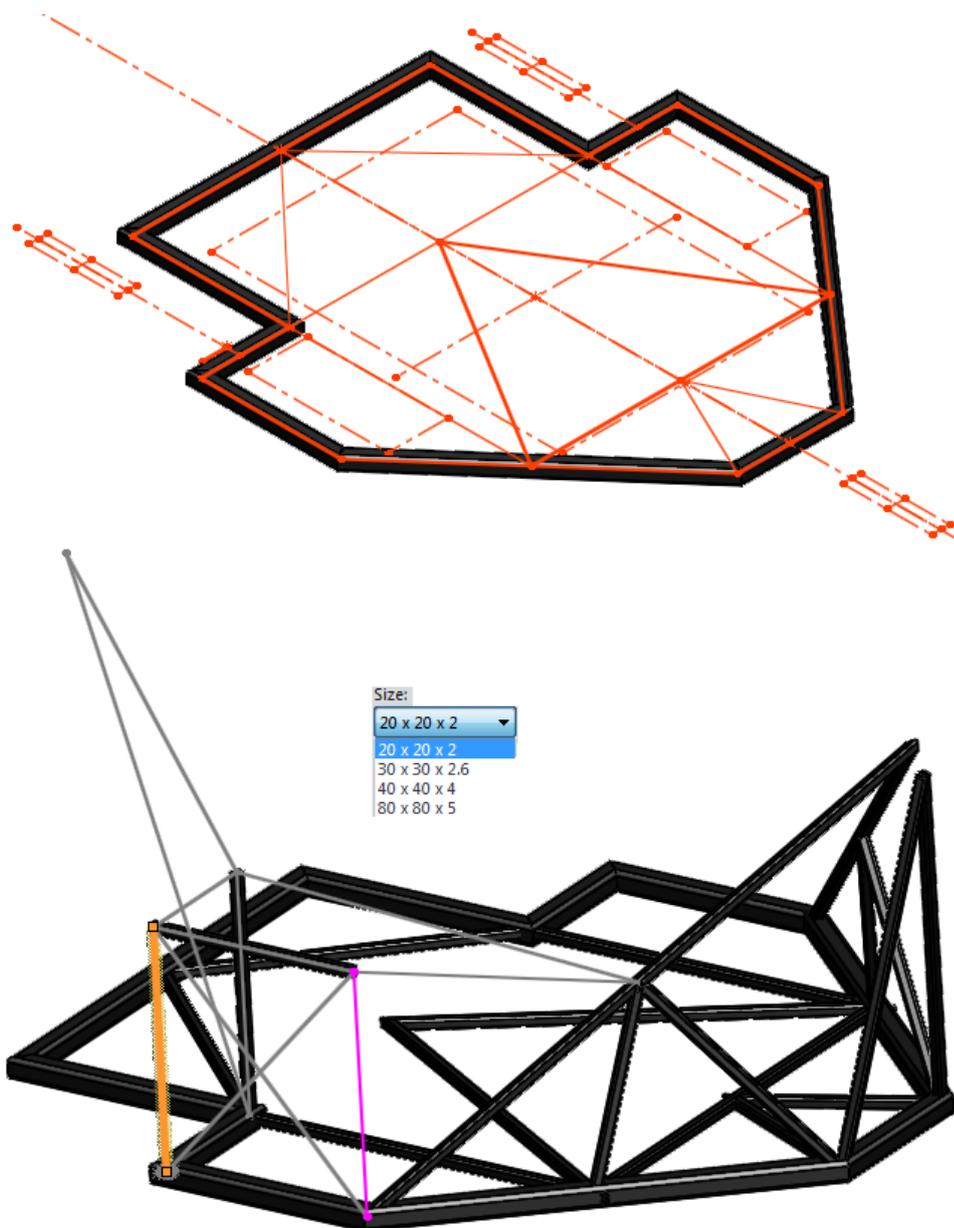


Figura 35: Revisión y evaluación de diseño

Una vez realizada la revisión y evaluación del diseño se obtiene el modelo final de bastidor el cual deberá pasar pruebas y análisis de las propiedades físicas bajo simulación estática y dinámica verificando esfuerzos, deformaciones, deflexiones, vida, etc., los cuales determinaran que el bastidor cumple con los requerimientos de diseño y posteriormente pasara al proceso de manufactura

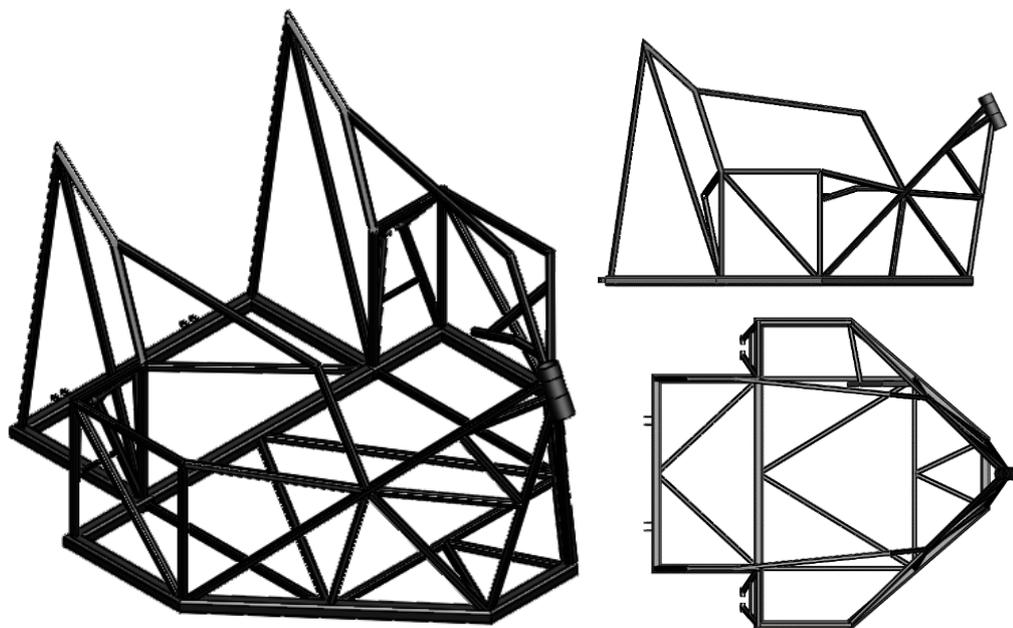


Figura 36: El Bastidor como estructura

3.5. Análisis de cargas que actúan sobre el bastidor.

El bastidor es el elemento el cual sujeta todos los sistemas y componentes que conforman el vehículo, los cuales producen cargas estáticas derivadas de su propio peso, además el bastidor deberá ofrecer protección al conductor en toda condición de funcionamiento e incluso en supuestas colisiones.

3.5.1. Cargas constantes.

Debido a la acción del peso de cada componente que conforma el vehículo y el conductor, se generan cargas constantes aplicadas directamente en las secciones de sujeción, como podemos apreciar en la figura 37 en la cual se representa la sección E – H lugar donde se concentra la mayor carga equivalente al de las baterías del vehículo, del mismo modo se ubica la sección A-B lugar en la cual se aplica la carga del conductor y diversos componentes y finalmente en las secciones restantes se ubican los componentes que conforman el sistema eléctrico.

Tabla 12
Cargas Constantes aplicadas al bastidor

| Componente | Sección | Peso |
|-------------------|---------|--------|
| Baterías | E - H | 1000 N |
| | F - G | 1000 N |
| Conductor | A - B | 1000 N |
| Sistema eléctrico | D | 500 N |
| Sistema de acceso | A | 500 N |

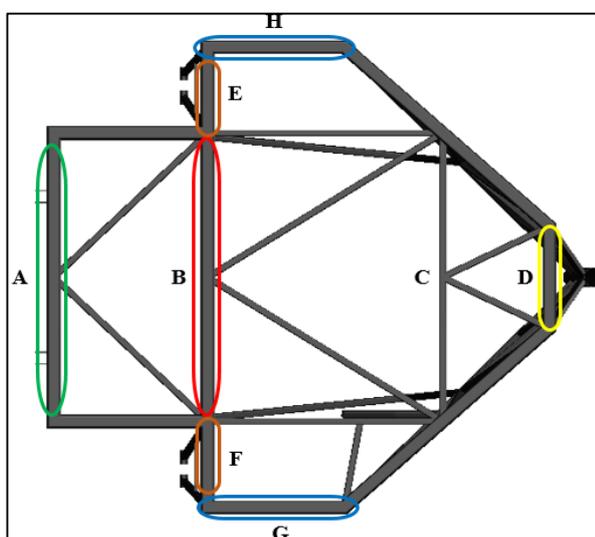


Figura 37: Seccionamiento de Cargas

3.5.2. Cargas de colisión.

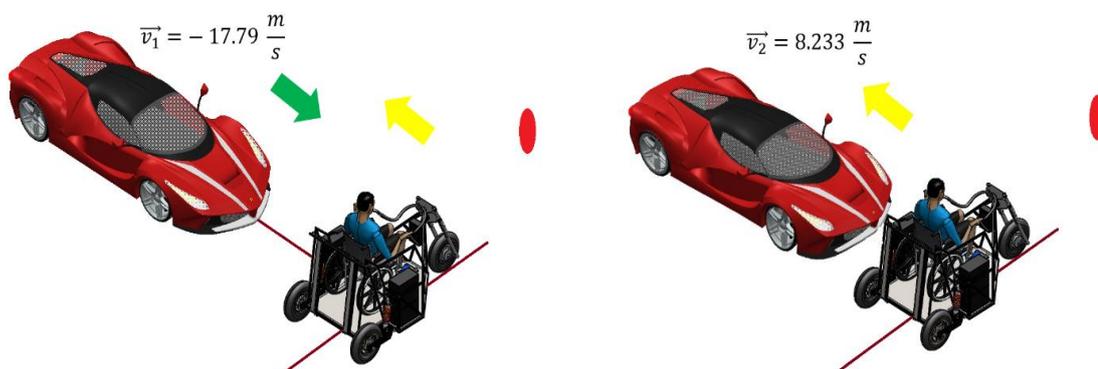
Cuando dos o más cuerpos se aproximan entre sí, entre ellos actúan fuerzas internas que hacen que su energía varíe, de esta forma entre los cuerpos se ha producido una colisión o choque el cual ocurre en un espacio limitado y un intervalo de tiempo corto.

Para el cálculo de impacto se ha tomado las velocidades $\vec{v}_2 = 8.233 \frac{m}{s}$, $\vec{v}_1 = -17.79 \frac{m}{s}$ y un intervalo de tiempo de 50 ms tal como indica la norma europea EN 1317. Este intervalo va desde que el vehículo colisiona con la barrera en $t_1=130$ ms, hasta el instante de tiempo $t_2 =180$ ms que es justo donde se interrumpe la simulación. Por tanto, en él están comprendidos los valores extremos de deceleración

que son los que nos interesan para calcular la severidad del impacto. (Illescas. D. 2009)

a. Colisión lateral.

Las colisiones laterales o embestidas se producen cuando un vehículo golpea a otro en su parte lateral, y dependiendo de la parte en la que colisiona un vehículos sobre el otro se denominan colisiones perpendiculares posteriores, centrales o anteriores.



$$P_i = m \cdot v_1$$

$$P_i = 1500 \text{ kg} \cdot -17.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_i = -26685 \text{ Ns}$$

$$P_f = m \cdot v_2$$

$$P_f = 1500 \text{ kg} \cdot 8.233 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_f = 12349.5 \text{ Ns}$$

$$F_{imp} = \Delta P$$

$$F_{imp} = \frac{P_f - P_i}{\Delta t}$$

$$F_{imp} = \frac{12349.5 \text{ Ns} - (-26685 \text{ Ns})}{0.05 \text{ s}}$$

$$F_{imp} = 780690 \text{ N}$$

Una vez determinada la carga de impacto lateral se procede a delimitar la zona de análisis para el bastidor como se representa en la figura 38.

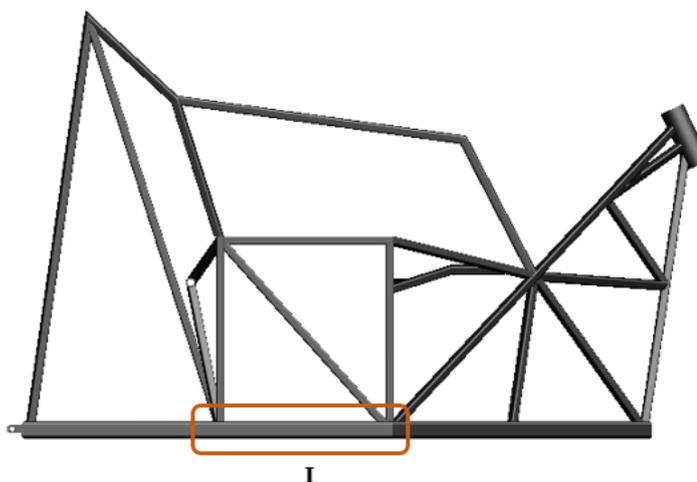
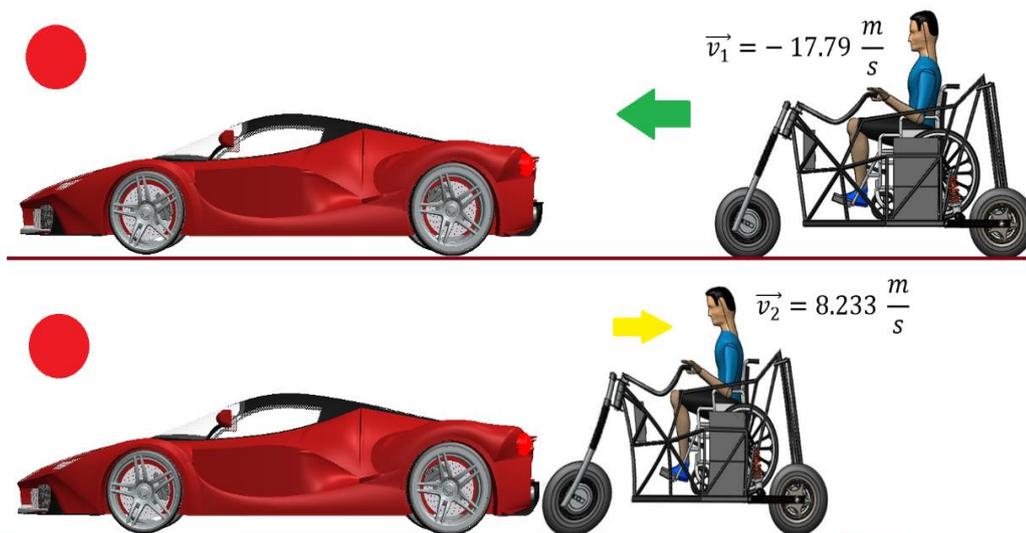


Figura 38: Zona de Análisis de Impacto Lateral

b. Colisión frontal.

Estas colisiones consisten en que ambos vehículos colisionan con su parte delantera entre sí. Dependiendo del ángulo en el que colisionan ambos vehículos se diferencia el tipo de colisión, la cual puede ser frontal central, frontal excéntrica, frontal angular.



$$P_i = m \cdot v_1$$

$$P_i = 388 \text{ kg} \cdot -17.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_i = - 6760.2 \text{ Ns}$$

$$P_f = m \cdot v_2$$

$$P_f = 388 \text{ kg} \cdot 8.233 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_f = 3128.54 \text{ Ns}$$

$$F_{imp} = \Delta P$$

$$F_{imp} = \frac{P_f - P_i}{\Delta t}$$

$$F_{imp} = \frac{3128.54 \text{ Ns} - (- 6760.2 \text{ Ns})}{0.05 \text{ s}}$$

$$F_{imp} = 197774.8 \text{ N}$$

Una vez determinada la carga de impacto lateral se procede a delimitar la zona de análisis para el bastidor como se representa en la figura 39.

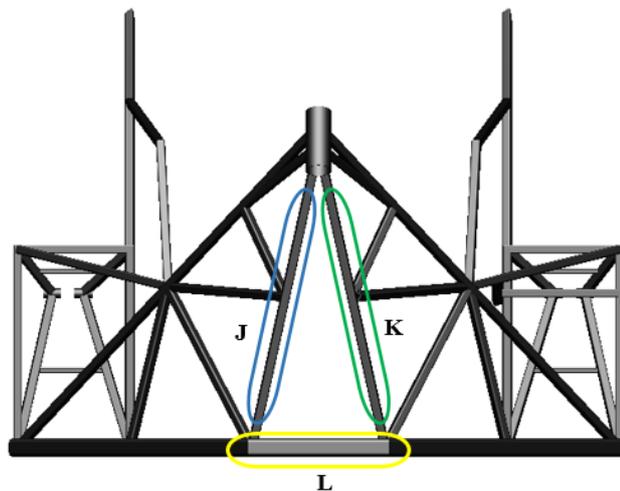


Figura 39: Zona de Análisis de Impacto Frontal

3.6. Consideraciones para el análisis MEF.

El método de elementos finitos es un procedimiento numérico, que se puede utilizar para obtener soluciones a una gran escala de sistemas de ingeniería, incluyendo análisis de estrés, transferencia de calor, el flujo de fluido y el electromagnetismo, las consideraciones para este tipo de análisis se basan en la

configuración del entorno de simulación con el objetivo de obtener resultados lo más cercanos a la realidad del comportamiento del bastidor.

3.6.1. Selección del tipo de elemento.

Los elementos se clasifican por su forma geométrica y básicamente concretan la forma de cada elemento dentro de la malla, las formas se clasifican por el tipo de análisis realizado y el número de nodos que forma cada elemento.

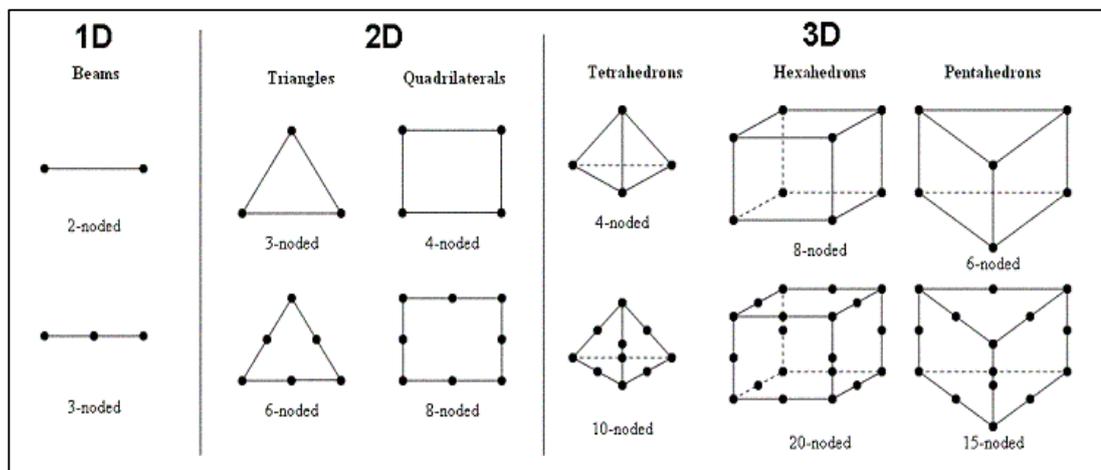


Figura 40: Forma Geométrica de los elementos

3.6.2. Elaboración del mallado.

La malla de elementos finitos tiene el propósito de subdividir la primera geometría de CAD que está siendo modelado en pedazos más pequeños, o elementos, sobre la que es posible escribir un conjunto de ecuaciones que describen la solución a la ecuación de gobierno. La malla también se utiliza para representar el campo de la física solución a ser resuelto.

A medida que aumenta el número de elementos en el modelo, el error se pone esta es una propiedad fundamental del método de elementos finitos, cuantos más elementos, más preciso será su solución, también hay un costo asociado con esto ya que es necesario más recursos computacionales, tanto en tiempo como en hardware.

A través de la figura 41 se puede analizar una malla inicial, así como los resultados de varias iteraciones de refinamiento y adaptación de la malla, junto con el campo de esfuerzos resultantes.

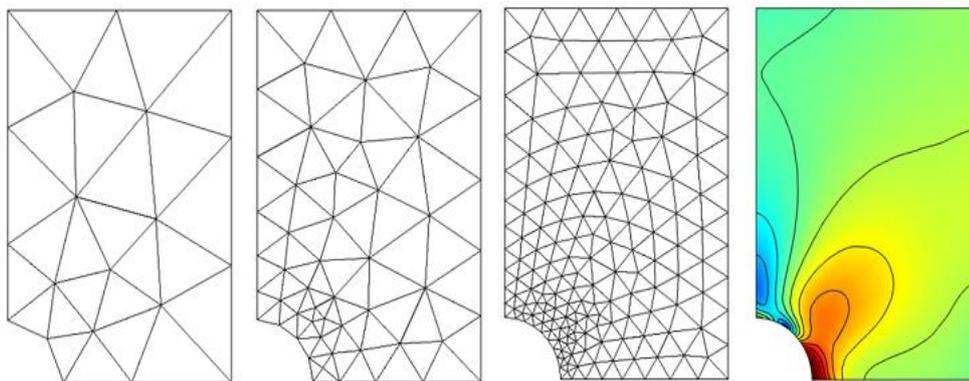


Figura 41: Malla Inicial y Campo de Esfuerzos Computarizada

Fuente: (Frei, 2013)

3.6.3. Convergencia del mallado.

La convergencia es utilizada para determinar que el resultado está convergiendo en una única solución correcta con un determinado número de elementos sin consumir demasiado recurso computacional. El método formal de establecer la convergencia de malla requiere una curva de un parámetro de resultado crítico como puede ser el esfuerzo equivalente de Von Mises el cual deberá ser analizado en una ubicación específica, para ser representado frente a alguna medida de densidad de la malla. Se requiere un mínimo de tres carreras de convergencia para trazar una curva que puede ser usada para indicar cuando se logra la convergencia o a qué dimensión de malla más refinada es de plena convergencia.

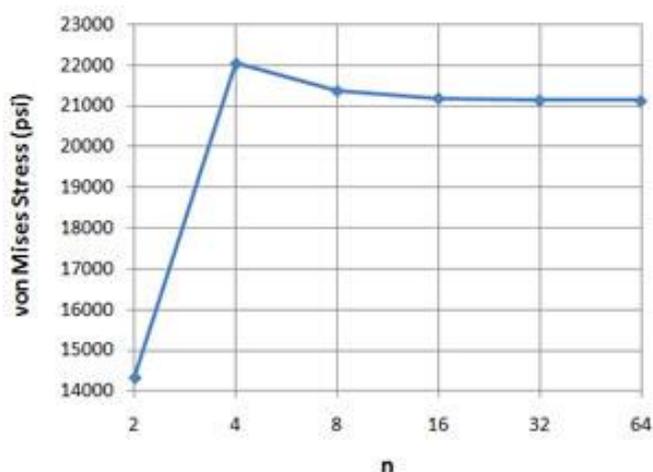


Figura 42: Esfuerzo Equivalente de Von Mises

Fuente: (Frei, 2013)

El tamaño óptimo del elemento de la malla se determinó a través del método de la convergencia en la sección A-B de la estructura, esto determinara la definición de la malla para todo el bastidor en análisis posteriores.

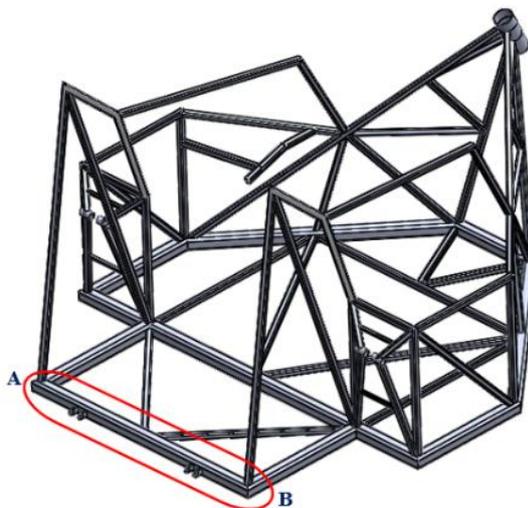


Figura 43: Sección A-B de la estructura

La definición de la carga se estipula en la figura 44, donde se aprecia la ubicación puntual de las fuerzas y los puntos de fijación, además de la ubicación de una probeta para medir la variación del esfuerzo en el punto C, previo al refinamiento de la malla.

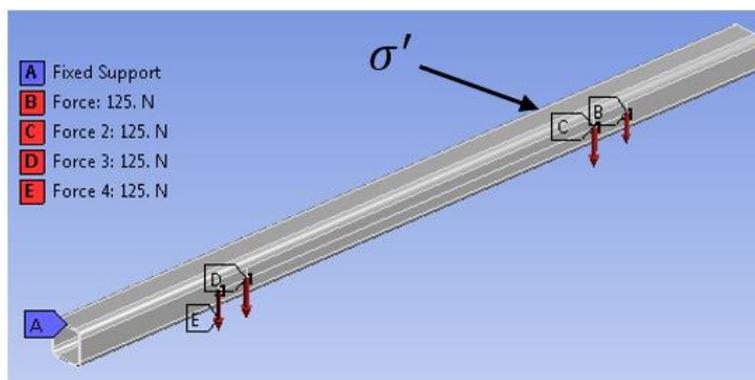


Figura 44: Ubicación Puntual de las fuerzas y los puntos de fijación

En la figura 45 se simboliza el diagrama de cuerpo libre en el cual se representan las cargas y las reacciones necesaria para determinar las fuerzas cortantes y momentos máximos.



Figura 45: Diagrama de Cuerpo Libre

En la figura 46 se simboliza el diagrama de fuerzas cortantes las cuales actúan perpendicular al eje longitudinal de la sección A-B.

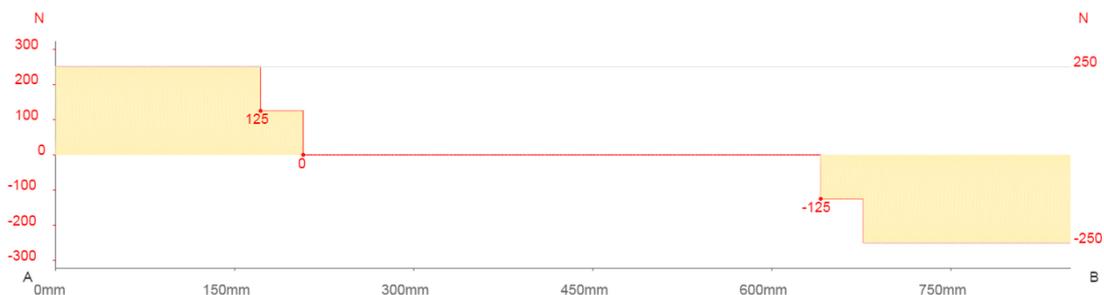


Figura 46: Diagrama de Fuerzas Cortantes

En la Figura 47 se simboliza el diagrama de momentos flectores máximos producidos por las fuerzas de corte en la sección A-B, momento necesario para determinar el esfuerzo equivalente de Von Mises el cual será cotejado en el proceso estipulado por la convergencia de la malla.



Figura 47: Diagrama de Momentos Flectores Máximos

En la Tabla 13 se representan las propiedades de la sección del material utilizado en el elemento A-B en el proceso de diseño bastidor. (IPAC, 2013)

Tabla 13
Propiedades del material elemento A-B

| DIMENSIONES | | AREA | | EJES X-Xe Y-Y | | |
|-------------|---------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| A mm | ESPEJOR mm | PESO Kg/m | AREA Cm ² | I Cm ⁴ | W Cm ³ | i cm |
| 20 | 1.2 | 0.72 | 0.90 | 0.53 | 0.53 | 0.77 |
| 20 | 1.5 | 0.88 | 1.05 | 0.58 | 0.58 | 0.74 |
| 20 | 2.0 | 1.15 | 1.34 | 0.69 | 0.69 | 0.72 |
| 25 | 1.2 | 0.90 | 1.14 | 1.08 | 0.87 | 0.97 |
| 25 | 1.5 | 1.12 | 1.35 | 1.21 | 0.97 | 0.95 |
| 25 | 2.0 | 1.47 | 1.74 | 1.48 | 1.18 | 0.92 |
| 30 | 1.2 | 1.09 | 1.38 | 1.91 | 1.28 | 1.18 |
| 30 | 1.5 | 1.35 | 1.65 | 2.19 | 1.46 | 1.15 |
| 30 | 2.0 | 1.78 | 2.14 | 2.71 | 1.81 | 1.13 |
| 40 | 1.2 | 1.47 | 1.80 | 4.38 | 2.19 | 1.25 |
| 40 | 1.5 | 1.82 | 2.25 | 5.48 | 2.74 | 1.56 |
| 40 | 2.0 | 2.41 | 2.94 | 6.93 | 3.46 | 1.54 |
| 40 | 3.0 | 3.54 | 4.44 | 10.20 | 5.10 | 1.52 |

Fuente: (IPAC, 2013)

Cálculo del esfuerzo normal máximo.

$$\sigma_{max} = \pm \frac{M \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{max} = \pm \frac{M}{Z}$$

$$\sigma_{max} = \pm \frac{47.6 \text{ Nm}}{3.46 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{max} = \pm 13.75 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{xy} = -\frac{V}{A_c}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{250 \text{ N}}{2.94 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{xy} = -0.850 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo equivalente de von mises.

$$\sigma_x, \sigma_y = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_x, \sigma_y = -\frac{13.75 \text{ MPa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{13.75 \text{ MPa}}{2}\right)^2 + (0.850 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_x, \sigma_y = -6.875 \pm 6.927$$

$$\sigma_x = -13.79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 0.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(13.79)^2 - (13.79 \cdot 0.05) + (0.05)^2 + 3 \cdot (0.850)^2}$$

$$\sigma' = 13.84 \text{ MPa}$$

El valor del esfuerzo equivalente de Von Mises determinado analíticamente en el punto C será analizado y comparado por el método del elemento finito en diversas iteraciones variando el refinado de la malla como se expresa en la tabla 14.

Tabla 14
Esfuerzo equivalente de Von Mises Punto C

| Nodos | Esfuerzo C | Tamaño de elemento |
|--------------|---------------|-----------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 3118 | 6.3057 | 40 |
| 5230 | 7.1594 | 30 |
| 9792 | 12.101 | 20 |
| 24000 | 16.514 | 10 |
| 30160 | 16.378 | 8 |
| 52520 | 15.853 | 6 |
| 72384 | 15.584 | 5 |

CONTINÚA 

| | | |
|-------|--------|---|
| 93180 | 15.664 | 4 |
|-------|--------|---|

Previo al refinamiento y la variación del tamaño del elemento de la malla se obtiene la curva de convergencia determinada en la figura 48.

En dicha figura podemos apreciar que el esfuerzo converge a un valor aproximado de 16.5 MPa sin tener mayor fluctuación en el incremento del número de nodos producidos por el refinamiento progresivo del tamaño del elemento.

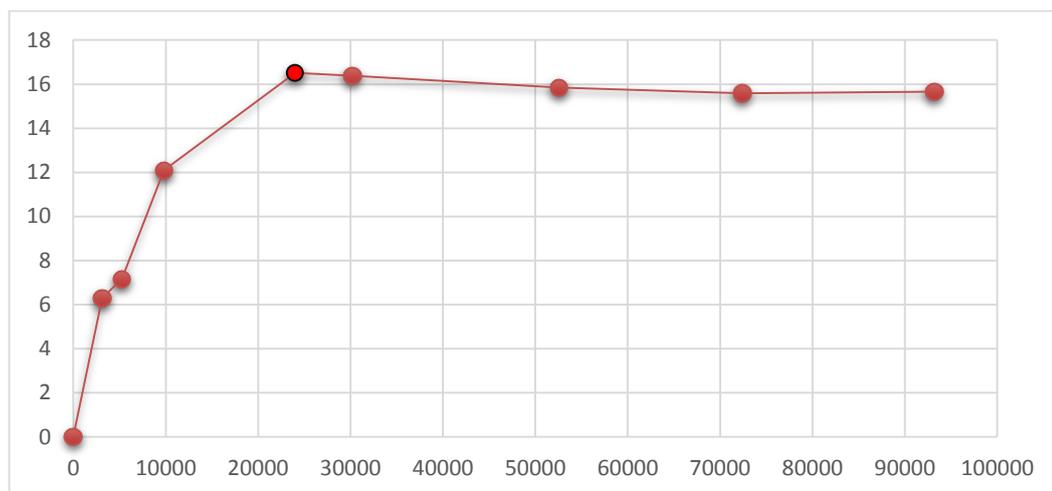


Figura 48: Curva de Convergencia

El tamaño del elemento definido para la simulación del bastidor es de 10 mm determinados en el proceso de convergencia

Valor que nos da el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo como se puede apreciar en la figura 49.

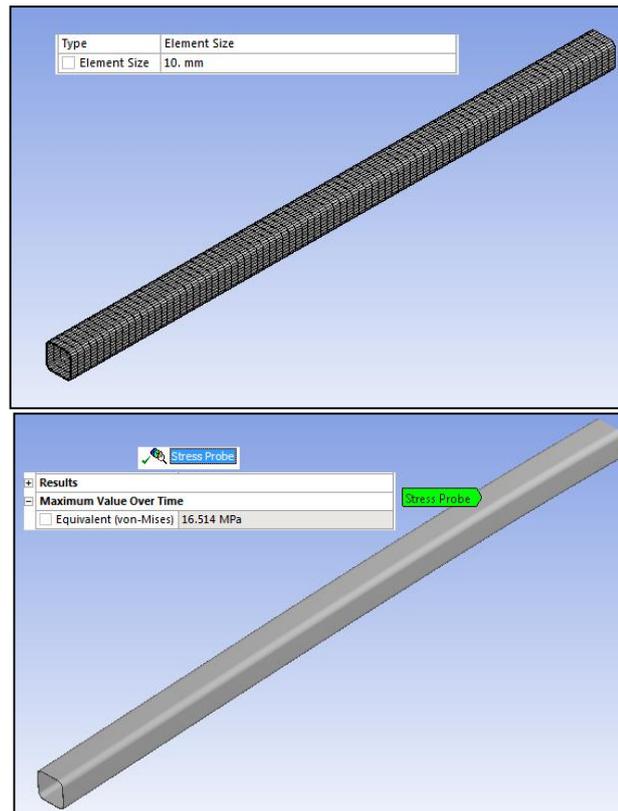


Figura 49: Esfuerzo equivalente de Von Mises máximo

A través de este método podemos determinar fácilmente el factor de seguridad del elemento A-B la cual se encuentra con un valor mínimo de 3.2 valor que ratifica su correcto comportamiento en la estructura.

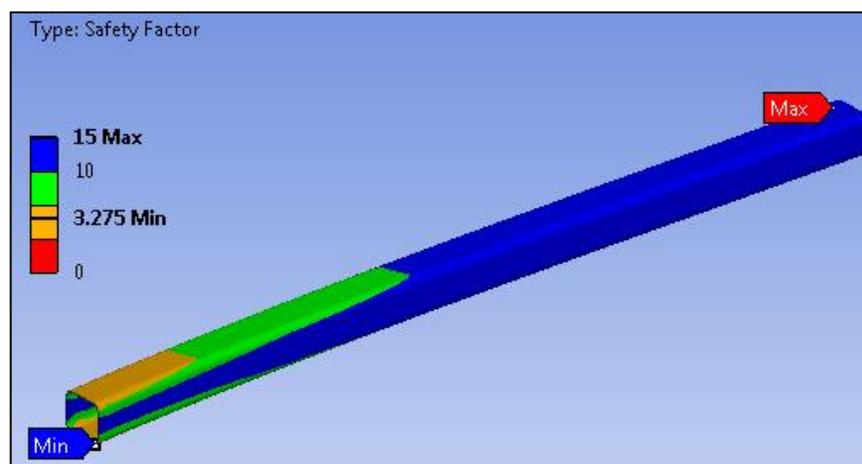


Figura 50: Factor de seguridad del elemento A-B

3.7. Simulación del bastidor.

3.7.1. Análisis de cargas constantes.

En este escenario se configura un análisis estático y dinámico para determinar el desempeño del bastidor en condiciones extremas de funcionamiento, como se observa en la figura 51 en la cual se representan las cargas que interactúan con el bastidor.

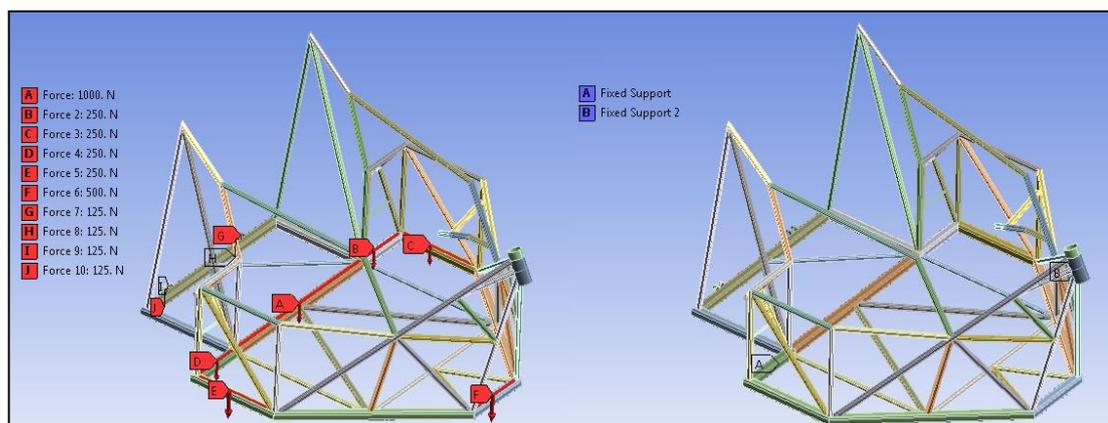


Figura 51: Análisis estático y dinámico

En la figura 52 se representa el mallado del bastidor, proceso que se realiza bajo consideraciones previamente definidas.

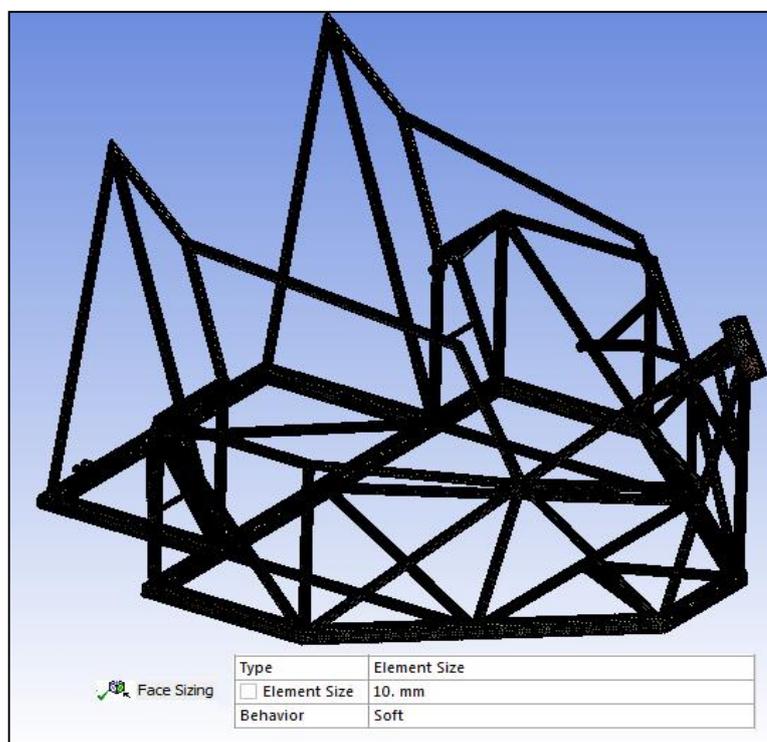


Figura 52: Mallado del Bastidor

3.7.2. Deformación total.

Las cargas que actúan sobre el bastidor generan una deformación máxima de 0.56 mm la cual se encuentra en la zona superior posterior del bastidor, valor mínimo que no representa una deformación permanente en la estructura.

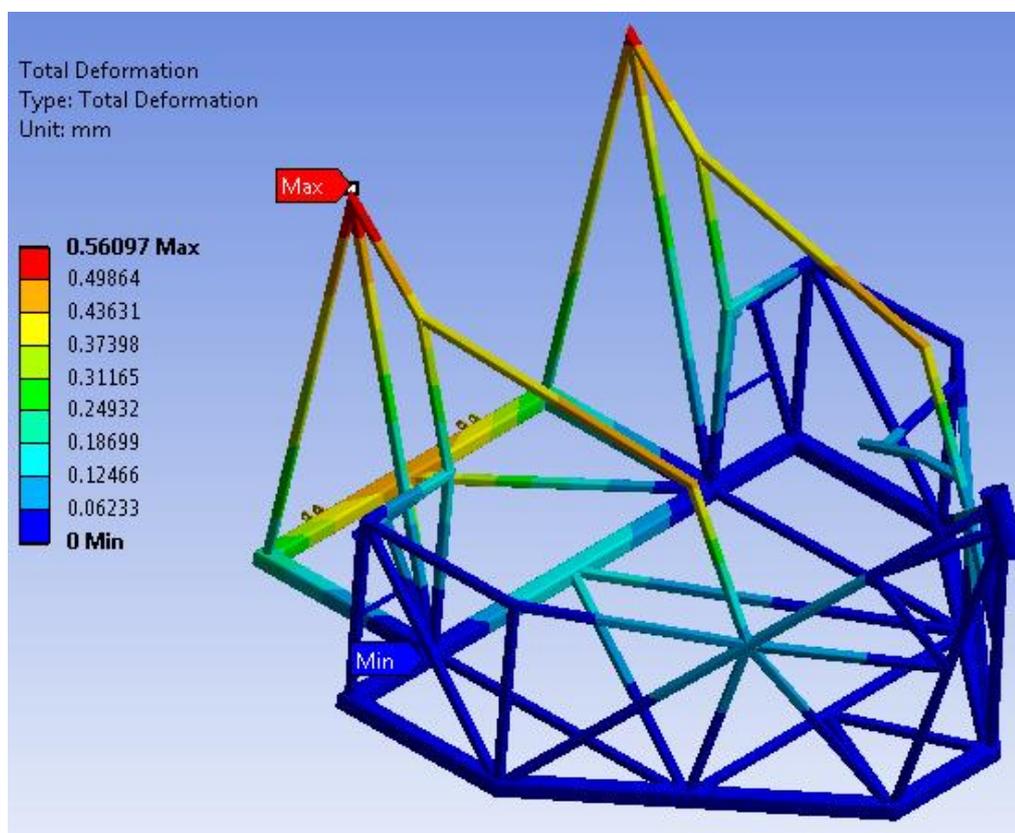


Figura 53: Deformación máxima

3.7.3. Deformación unitaria.

A través del diagrama esfuerzo deformación establecido en la figura 54 podemos analizar la compensación de la deformación unitaria, la cual representa la deformación permanente de 0.002 valor a partir del cual se traza una línea paralela a la línea de proporcionalidad, la intersección de esta con la curva esfuerzo vs deformación unitaria determina el límite de fluencia del material dentro del diagrama.

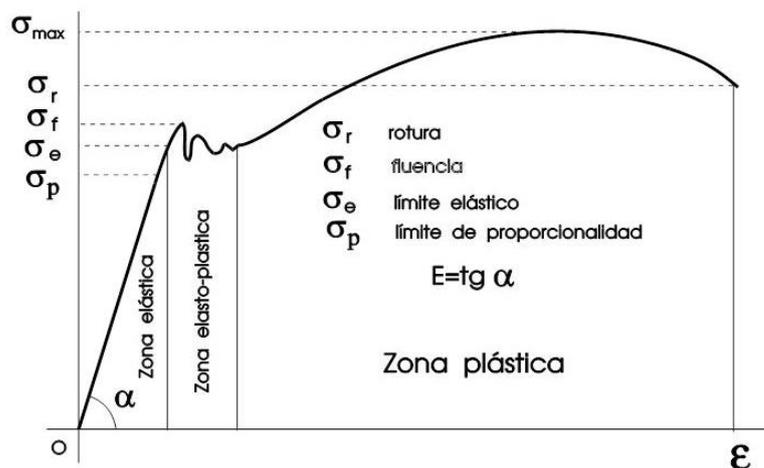


Figura 54: Diagrama Esfuerzo – Deformación Unitaria

Fuente: Mott, 2006.

La deformación unitaria se encuentra en un valor máximo de 0.00042 valor que nos indica que el comportamiento de la estructura se está produciendo dentro de la zona elástica del material, por lo concerniente el bastidor no sufre deformaciones permanentes en este escenario de condiciones extremas de carga.

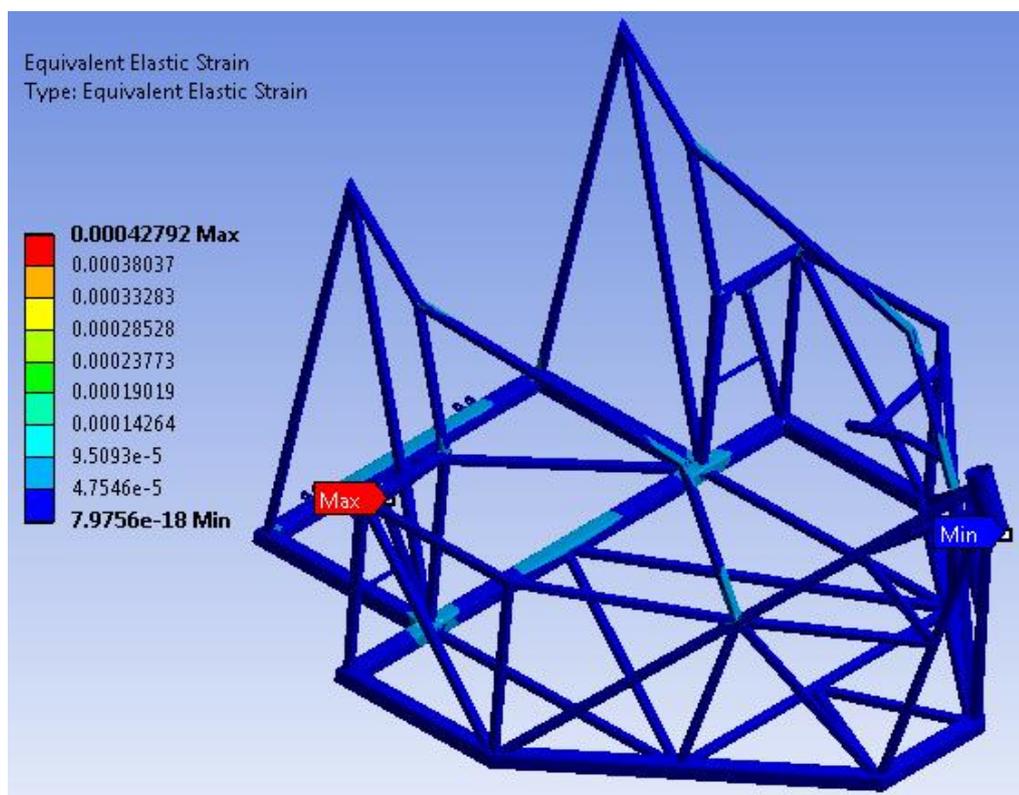


Figura 55: Deformación Unitaria

3.7.4. Esfuerzo equivalente de Von Mises.

A través de la teoría de la energía de la deformación se determina el esfuerzo equivalente de Von Mises con un valor máximo de 85.58 MPa, valor que se encuentra por debajo del límite de fluencia del material empleado en el proceso de diseño.

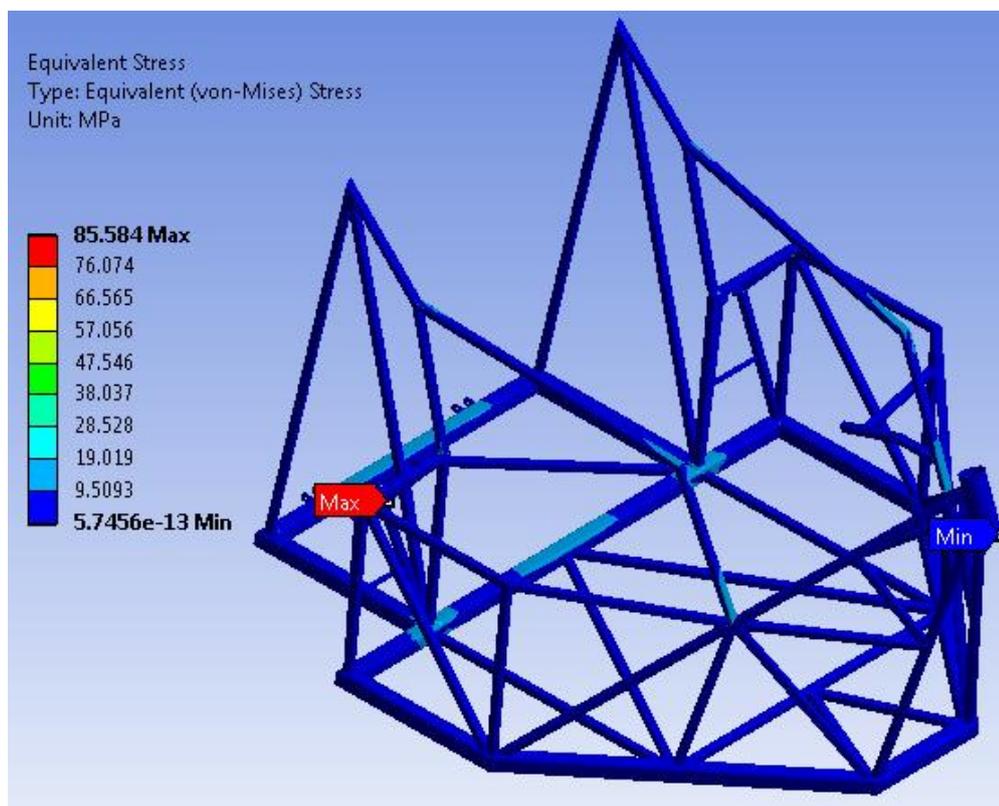


Figura 56: Esfuerzo equivalente de Von Mises

3.7.5. Factor de seguridad.

El bastidor bajo un escenario de simulación con condiciones extremas de funcionamiento ofrece un factor de seguridad mínimo de 2.92 valor el cual se encuentra dentro del rango establecido para mantener su integridad en cualquier condición de funcionamiento, los valores referenciales para estructuras se encuentran entre 2.5 – 4 los cuales ofrecen un alto grado de confianza. (Mott, 2006, p.185).

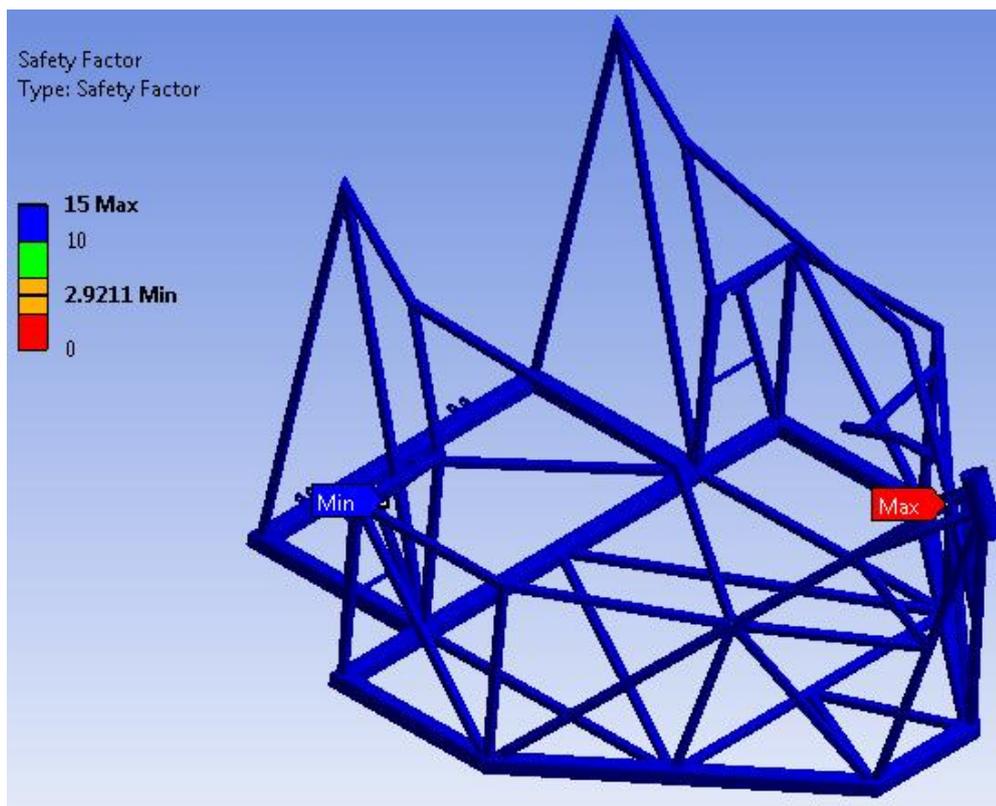


Figura 57: Factor de Seguridad

3.7.6. Factor de seguridad a fatiga.

La fatiga es un fenómeno que conduce a la rotura de una pieza mecánica a causa de cargas repetidas y las teorías de falla más comunes utilizados para determinar los indicadores de resistencia a la fatiga son representados en la figura 58.

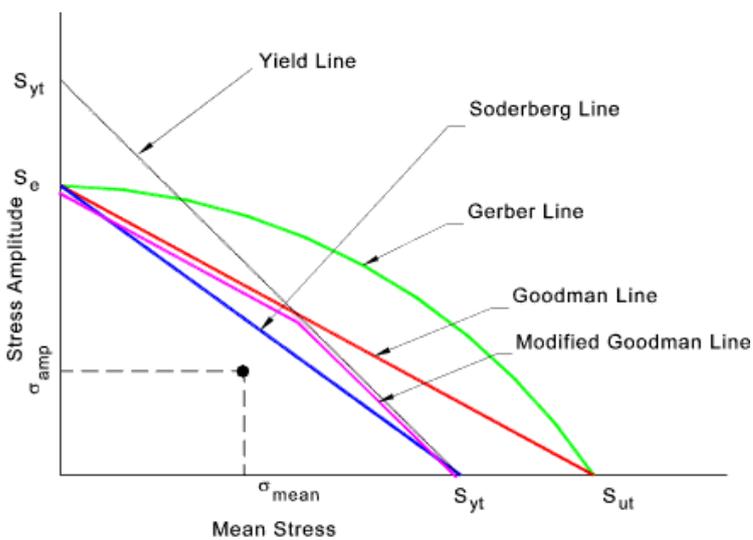


Figura 58: Indicadores de resistencia a la fatiga

Fuente: (Molero Hidalgo, 2010)

La teoría utilizada para el análisis del bastidor es la de Soderberg la cual se utiliza para el análisis de la resistencia de piezas sometidas a tensiones fluctuantes con componente de tensión media positiva, criterio se basa en los valores de tensión media y alternante en el punto analizado, esta es la teoría más conservadora debido a que predice la falla del material antes de que este llegue a su límite de fluencia. (Molero Hidalgo, 2010)

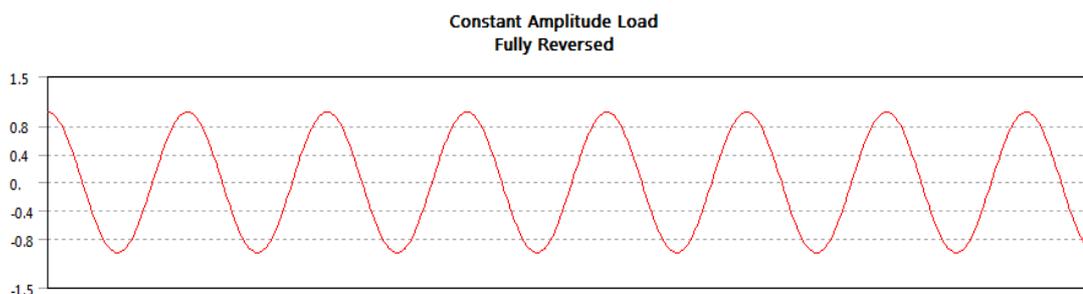


Figura 59: Amplitud de Carga Constante

Fuente: (Molero Hidalgo, 2010)

Gráficamente el criterio se representa por una línea recta en el gráfico de tensión media frente a tensión alternante, denominada línea de Soderberg, que indica la frontera del fallo. Cualquier punto con una combinación de tensiones media y alternante a la izquierda de la línea resistirá, mientras que uno a la derecha de la línea fallará según este criterio.

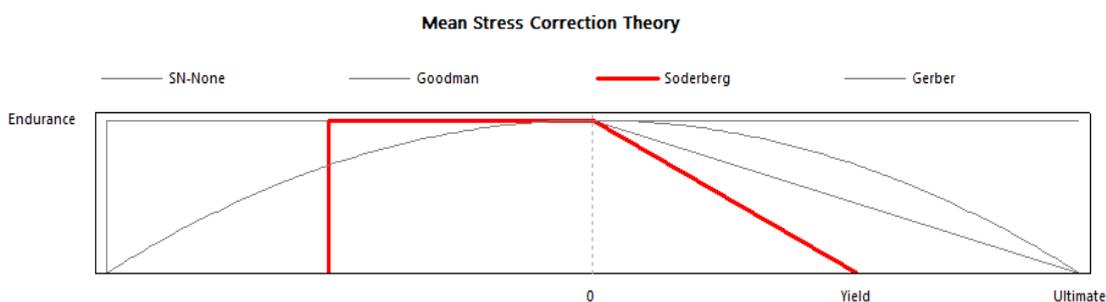


Figura 60: Teoría de Corrección de fatiga

Fuente: (Molero Hidalgo, 2010)

El factor de seguridad mínimo obtenido bajo el análisis de fatiga es de 1.72 valor que explícitamente estipula que el bastidor resistirá cualquier condición extrema de funcionamiento bajo lo cual el bastidor mantendrá su integridad.

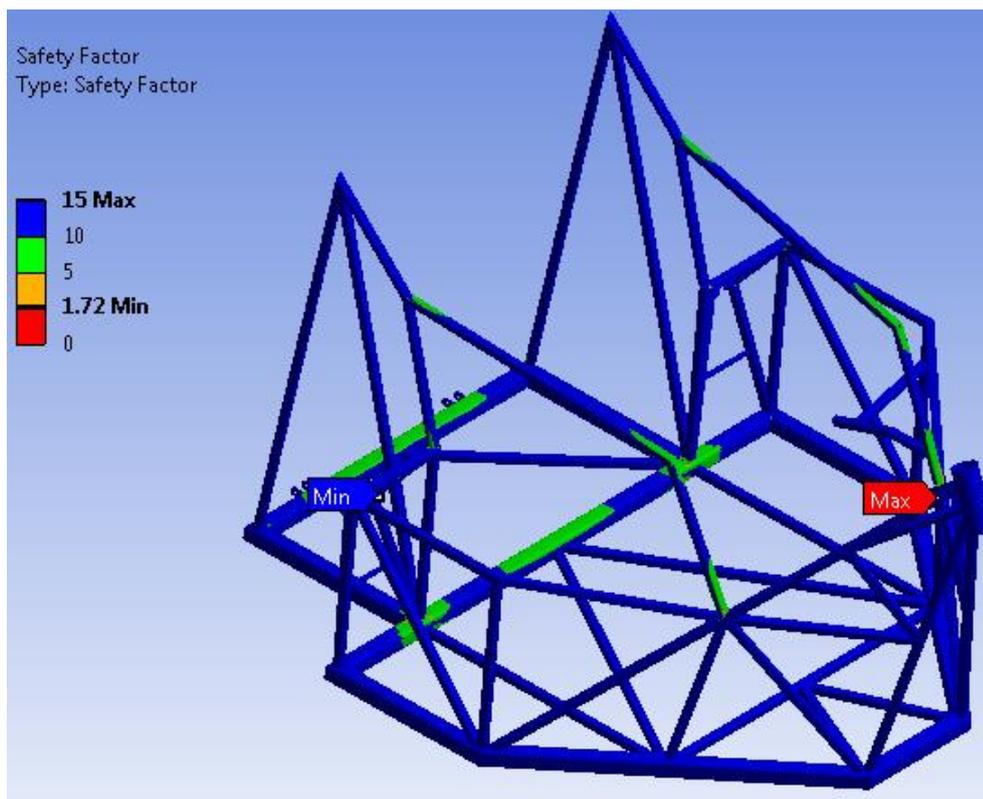


Figura 61: Factor de seguridad mínimo

3.7.7. Vida útil.

La vida útil del bastidor determinará la resistencia a la fatiga del mismo, la resistencia se puede dividir en tres áreas bien diferenciadas según el número de ciclos:

- Área de resistencia de ciclo bajo, para $N \leq 10^3$ ciclos aproximadamente: la resistencia es más o menos constante, independiente de los ciclos y el cálculo estático es suficiente para comprobar la resistencia.
- Área de resistencia a lo largo del tiempo, para $10^4 \leq N \leq 10^6$ ciclos aproximadamente: la resistencia disminuye con el aumento del número de ciclos.
- Área de resistencia permanente, para $N > 10^6$ ciclos aproximadamente: la resistencia es más o menos constante y la falla no puede ser definida por que se categoriza como vida infinita para el componente.

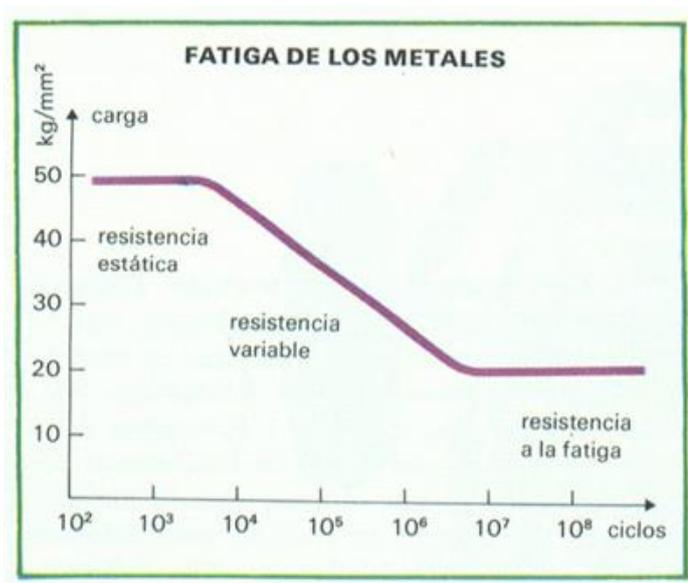


Figura 62: Fatiga de los metales

Fuente: (Motor Giga, 2011)

El valor de vida determinado para el bastidor es un número de ciclos, $N > 10^6$, por lo cual se obtiene una vida infinita para este componente, el cual ofrecerá un correcto desempeño en su funcionamiento.

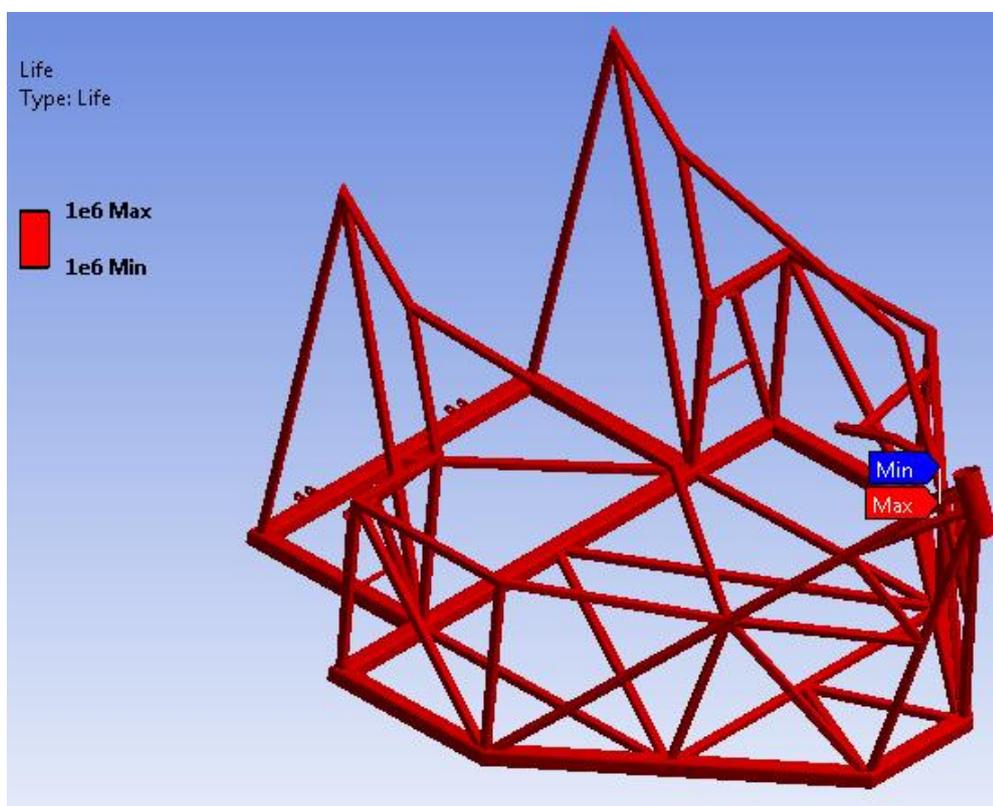


Figura 63: Valor de vida determinado para el bastidor

3.8. Análisis de colisión lateral.

3.8.1. Aplicación de carga.

La carga de impacto lateral y la zona de acción son representadas en la figura 64, colisión en la se estipula la condición que el vehículo está detenido y es impactado lateralmente y de forma perpendicular.

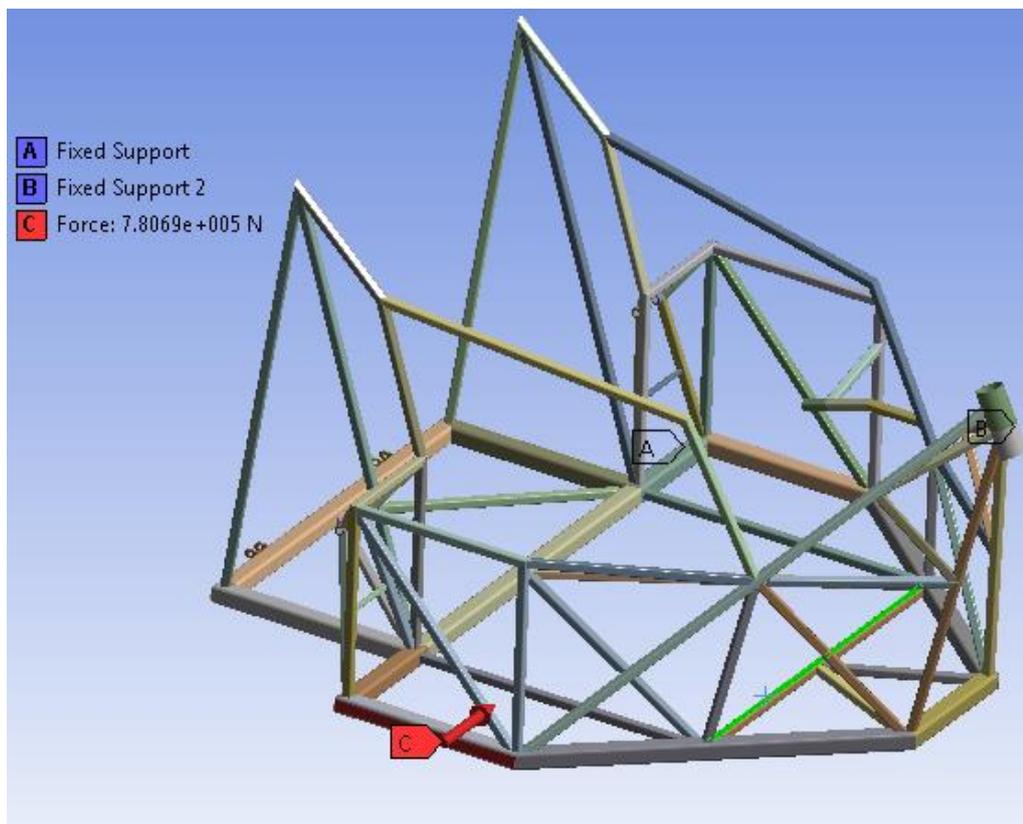


Figura 64: Carga de Impacto lateral y la zona de acción

3.8.2. Deformación total.

La deformación máxima obtenida en el análisis de impacto lateral es equivalente a 153.94 mm como valor máximo producido en la zona de aplicación de carga.

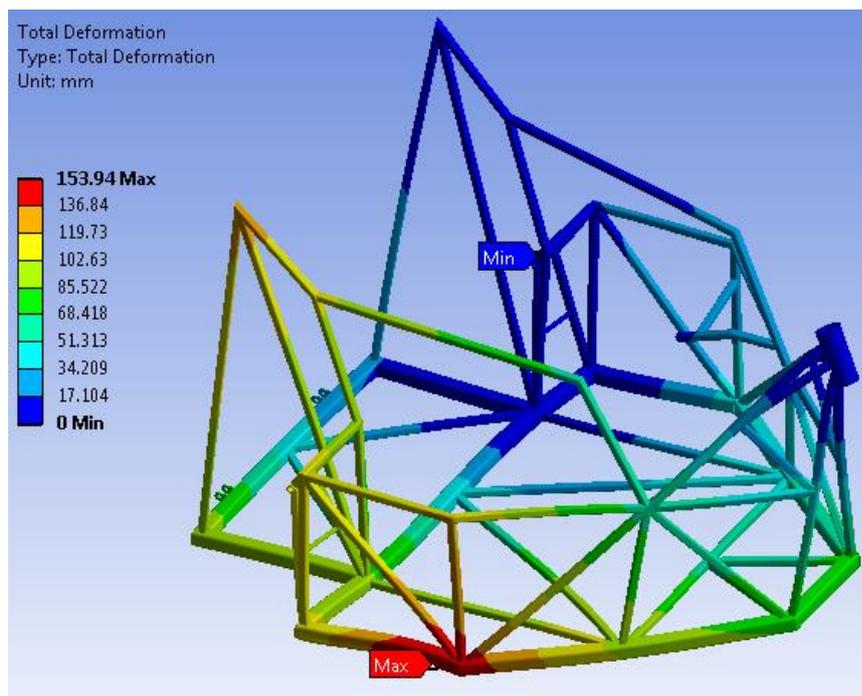
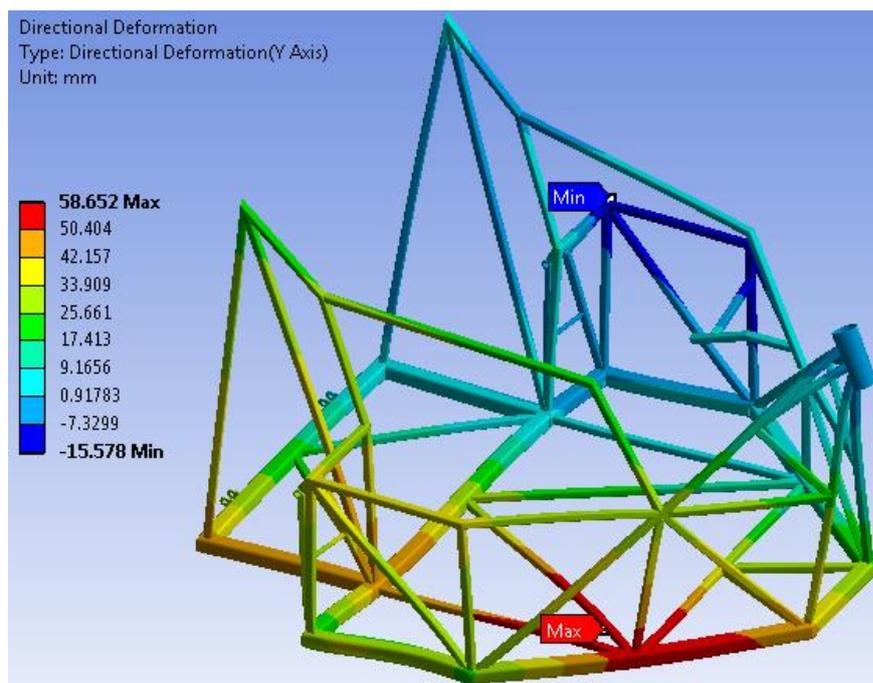


Figura 65: Deformación máxima de impacto lateral

3.8.3. Deformación direccional eje transversal.

La deformación máxima producida en el eje transversal obtenida en el análisis de impacto lateral es equivalente a 58.65 mm como valor máximo producido en la zona lateral frontal, este valor estipula que el conductor estará dentro de la zona de seguridad del bastidor la cual protege en una colisión analizada en condiciones extremas de funcionamiento.



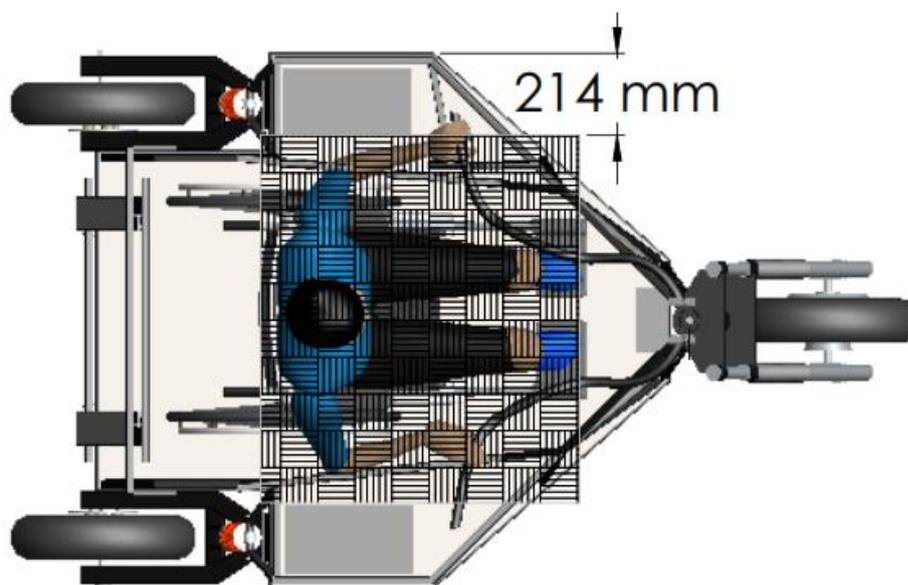


Figura 66: Deformación máxima producida en el eje transversal

3.9. Análisis de colisión frontal.

3.9.1. Aplicación de carga.

La carga de impacto frontal y la zona de acción son representadas en la figura 67, colisión en la se estipula la condición que el vehículo está detenido y es impactado frontalmente y de forma perpendicular.

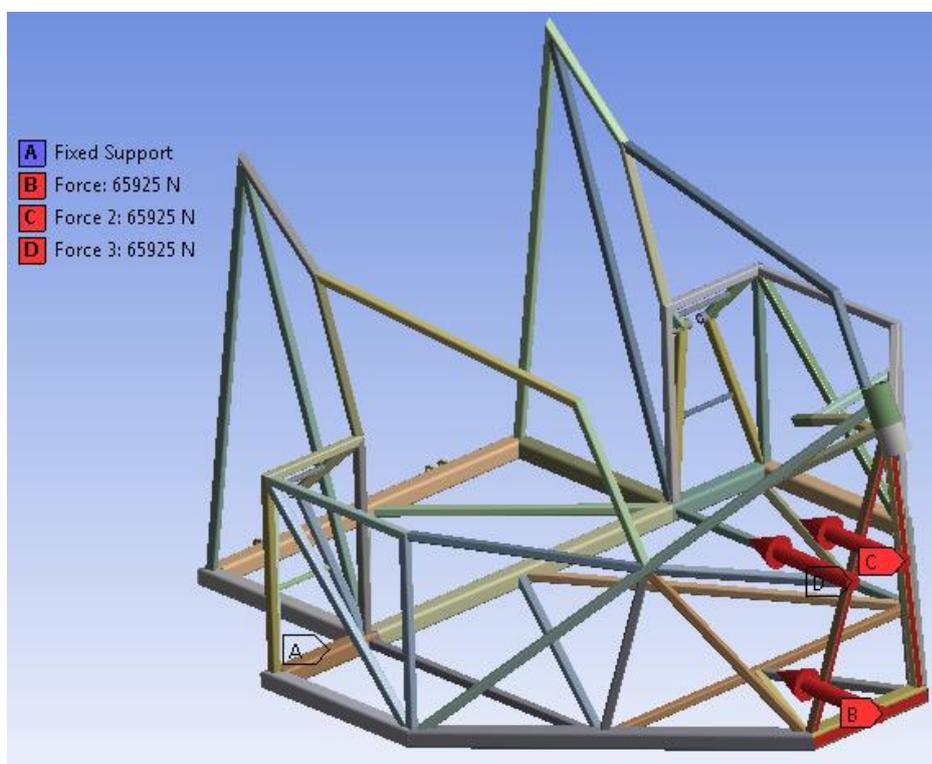


Figura 67: Carga de impacto frontal y la zona de acción

3.9.2. Deformación total.

La deformación máxima obtenida en el análisis de impacto frontal es equivalente a 158.52 mm como valor máximo producido en la zona de aplicación de carga.

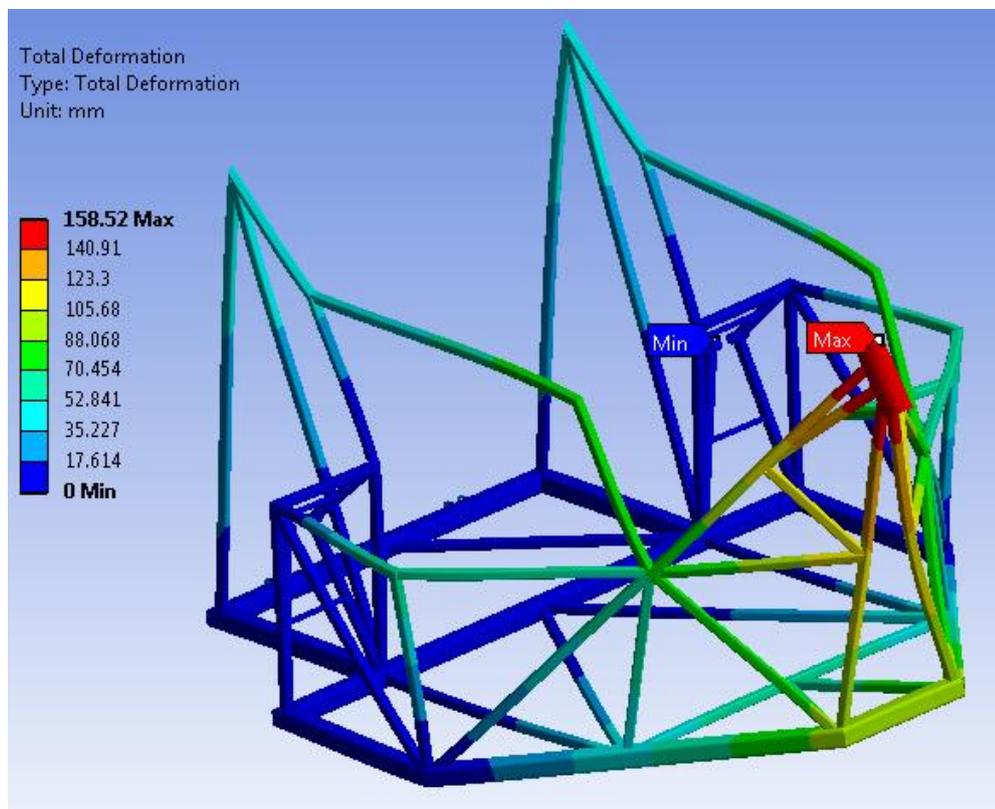


Figura 68: Deformación máxima de impacto frontal

3.9.3. Deformación direccional eje longitudinal.

La deformación máxima producida en el eje longitudinal obtenida en el análisis de impacto frontal es equivalente a 117.06 mm como valor máximo producido en la zona frontal, este valor estipula que el conductor estará dentro de la zona de seguridad del bastidor la cual protege en una colisión analizada en condiciones extremas de funcionamiento.

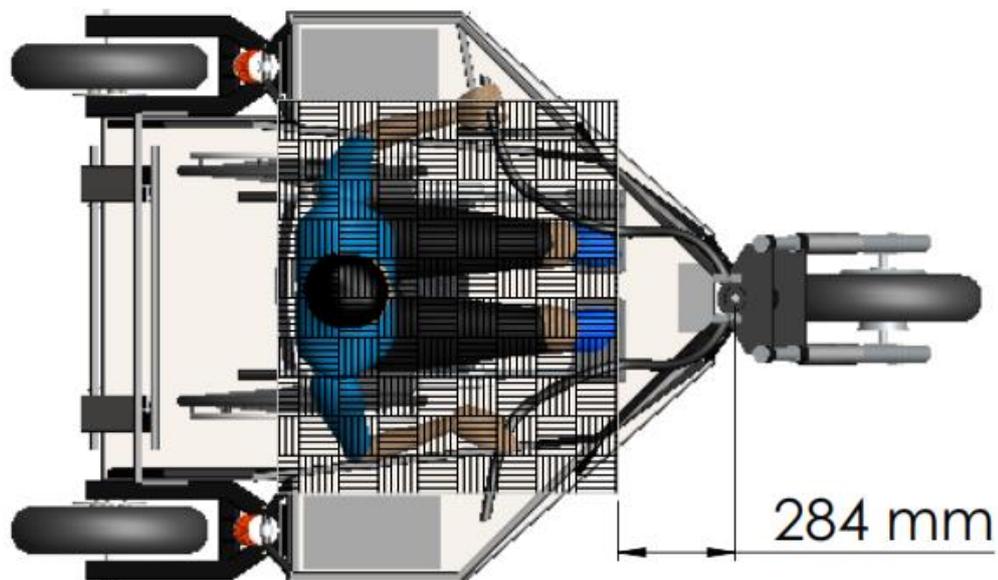
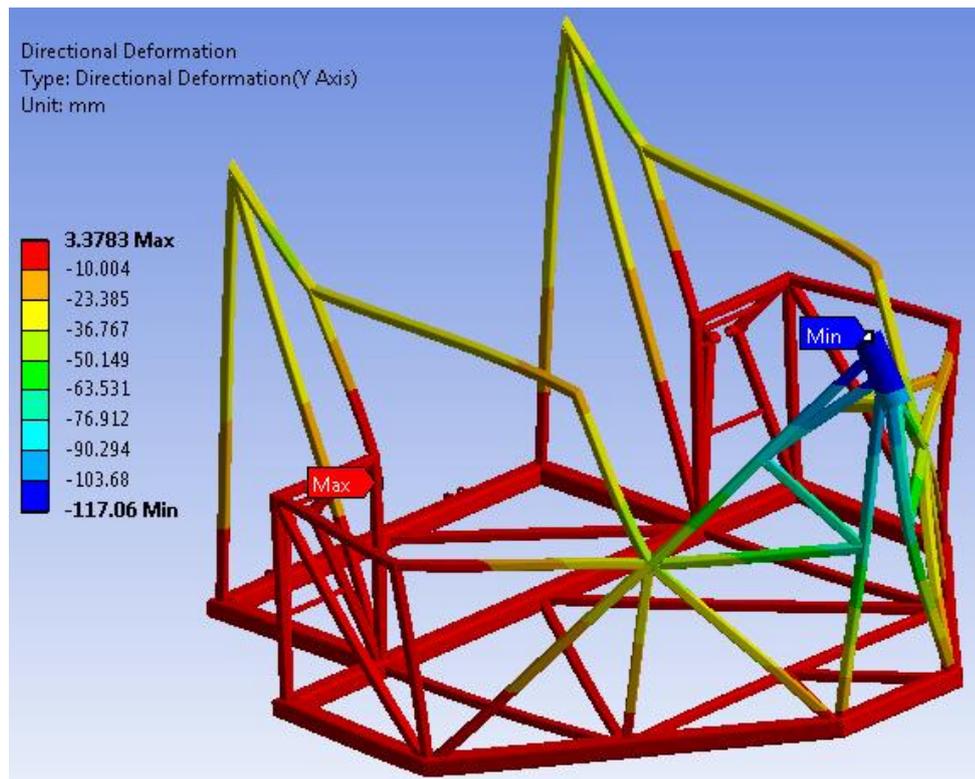


Figura 69: Deformación máxima producida en el eje longitudinal

3.10. Construcción del bastidor.

Terminado el diseño de la geometría del bastidor, el análisis y su respectiva simulación, hemos obtenidos resultados favorables al diseño, determinando así su viabilidad para el desarrollo de la construcción de un bastidor con estructura tubular.

3.10.1. Dimensionamiento.

Al diseñar un bastidor, se empieza por las llantas y el suelo. Se debe respetar las medidas críticas y lógicamente tiene que dar fácil y libre acceso a la persona discapacitada y a todos los elementos mecánicos. Es la parte más importante del triciclo porque determina el peso del mismo, la rigidez, el reparto de pesos, y en definitiva la eficacia del mismo. Los ejes marcan la directriz a seguir y ubicar el resto de los componentes del vehículo, ya que sobre ellos actúa la suspensión y por lo tanto el reparto de pesos debe de ser lo más equitativo posible.

a. Criterios de espacio.

A continuación se consideran los siguientes puntos, debido que en algunos casos pueden actuar como restricciones dimensionales sobre el diseño del bastidor.

- Se considera la facilidad de acceso a las partes mecánicas del triciclo para un fácil mantenimiento de las mismas.
- Se debe cumplir con normas en cuanto al espacio destinado al discapacitado, línea de visión y la amplitud interna del triciclo, donde exista un espacio suficiente para alojar la silla de ruedas.
- Es necesario comprobar que la línea de visión de la persona discapacitada, esté por encima del mecanismo de dirección del triciclo.

3.10.2. Adquisición de materiales.

La estructura principal del triciclo eléctrico consta de tubo estructural negro cuadrado ASTM A-500, este material cumple con las características requeridas.

En el catálogo en línea DIPAC existen variedad de tubos estructurales de acero ASTM A-500, y por su amplia comercialización en el mercado ecuatoriano se adquirió este material.

Tubería Estructural: Tubo cuadrado ASTM A-500 (40x2) mm.

Tubería Estructural: Tubo cuadrado ASTM A-500 (20x2) mm.

3.10.3. Marcado e inspección del material.

Los tubos estructurales cuadrados que serán utilizados para la construcción del bastidor del triciclo, son marcados con mucha precisión, previo a la realización del corte con cada una de las medidas estipuladas en los planos de diseño ya establecido.



Figura 70: Marcado e inspección del material

La inspección del marcado es muy importante, ya que de ésta manera se evitará errores en las medidas realizadas y por ende pérdida de material, demandando gastos extras.



Figura 71: Medición del material

3.10.4. Corte de los elementos.

Una vez realizado el proceso de marcado y habiendo corroborado las medidas en su totalidad, se continúa a realizar el corte de todos y cada uno de los tubos que formarán parte de la estructura tubular, es importante mantener un orden y una secuencia durante el corte del material para así evitar equivocaciones en su montaje.



Figura 72: Corte con sierra de arco

El corte de los materiales también se los puede realizar con el uso una amoladora, para tal caso hay que evitar la torcedura del material, sin embargo las rebabas que deja este tipo de corte son considerables; para el caso, se necesita el uso de normas de seguridad.



Figura 73: Corte con amoladora

3.10.5. Inspección de los cortes y desbaste.

Terminado el proceso de corte de los tubos necesariamente hay que quitar las rebabas que éste deja, para evitar así contratiempos al momento de montar y soldar la estructura. Dicho proceso se realizó con la ayuda de un esmeril, el cual brinda un correcto desbaste agilitando de gran manera el acoplamiento entre los demás tubos.



Figura 74: Desbaste usando esmeril

3.10.6. Ensamble de las partes de la estructura del bastidor.

Para el ensamble de todos los elementos que conformará el bastidor, se ha llevado a cabo a partir de un orden y secuencia para de ésta manera facilitar la construcción de la estructura.

a. Base Principal.

La base principal está construida de acero ASTM A-500 (40x2mm); consta de una parte frontal de 300 mm. A partir de dicha sección se extienden dos tubos de 848.53 mm de longitud, uno a cada lado con un ángulo de 73.61° con respecto a la horizontal, a continuación se extiende otro tubo con una longitud de 400 mm y con un ángulo de 135° con respecto a la vertical.

La parte posterior de la base del bastidor está diseñada por una sección horizontal de 850 mm de longitud dispuesta horizontalmente, seguida por dos tubos de 450 mm, uno a cada lado con ángulo recto, terminando en una sección transversal de 1508 mm de longitud hasta la cual también se extiende la parte frontal de la base del bastidor.

Los refuerzos de la base están contruidos de tubo rectangular ASTM A-500 (20x2mm), y se encuentran en la parte céntrica de la base, éstos van dispuestos en forma de “v” formando un angulo entre sí de 62.43° y extendiendose hasta el perímetro de la base del bastidor, como se observa en la figura 3.44.



Figura 75: Base principal del bastidor

b. Parantes Frontales.

Los parantes están contruidos por tubos cuadrados ASTM A-500 (20x2mm), dos de los cuales se prolongan desde la parte frontal del bastidor terminando en punta, con una longitud de 612.77 mm y formando entre sí un ángulo de 28.33° . Dos parantes más parten desde la base del bastidor y a una distancia desde la parte frontal en angulo recto de 275 mm, como se puede observar en la figura 3.45.



Figura 76: Parantes frontales del bastidor

c. Tirantes de la Sección Frontal Superior.

La sección frontal superior del bastidor está reforzada con dos tirantes hacia atrás, éstos son de acero estructural ASTM A-500 (20x2mm).



Figura 77: Tirante de la Sección Frontal Superior

Se cortaron dos tubos rectangulares simétricos de 939.57 mm cada uno, los tirantes están soldados en la base y en la parte más alta de sección frontal del bastidor, para ello se utilizó un bisel de 50°. Se fijaron dos parantes de tubo rectangular de 425 mm, los cuales se prolongan desde los vértices de la parte frontal inferior de la estructura con una inclinación de 55° hasta los tirantes, para así obtener una mejor distribución de esfuerzos.

d. Estructura de Impactos Laterales.

La protección lateral está formada por cuatro piezas tubulares rectangulares de sección igual a los tirantes de la parte frontal superior, acero ASTM A-500 grado C, (20x2 mm) como se observa en la Figura 3.47.



Figura 78: Protección Lateral

Con una persona discapacitada de 100 kg sentada en el triciclo, la pieza más alta de la protección lateral, brinda seguridad hasta los 450 mm desde la base del bastidor. En el triciclo existen dos tubos rectangulares simétricos dispuestos verticalmente, que se unen por otro tubo rectangular montado horizontalmente en la parte superior con una longitud de 400 mm. Además cuenta con otro tubo de la misma sección orientado entre dos de los cuatro vértices de la protección lateral.

La pieza inferior de la protección lateral forma parte de la base principal del bastidor.

e. Anclaje del Sistema de Suspensión.

Evaluar los puntos sobre los que se apoyará la geometría de la suspensión es primordial para reforzar o no determinada sección. Partiendo de estos parámetros, se construye el resto del bastidor hacia la parte frontal. Se colocan los correspondientes refuerzos respectivos; y finalmente, se crea la estructura posterior en forma de triángulo, donde se apoyará el sistema de suspensión para el eje posterior.



Figura 79: Puntos de anclaje de la suspensión

f. Bastidor Finalizado.

Una vez realizada la construcción de los diferentes elementos de la estructura se procedió al ensamblaje, obteniendo así el bastidor tubular para el triciclo monoplaza.



Figura 80: Bastidor Ensamblado

3.10.7. Proceso de soldadura.

Para la soldadura del bastidor del triciclo monoplaza, se utilizó el proceso GMAW con una mezcla de gas inerte (Ar) y un gas activo (CO₂), que es básicamente más productivo que la soldadura SMAW, donde cada vez que se produce una parada para reponer el electrodo consumido se pierde productividad. Se

utilizó un electrodo continuo consumible ER70S-3 con un diámetro de alambre de 1.1mm.



Figura 81: Soldadura de la base principal

Rigidizando el bastidor al máximo es la manera correcta de hacer éste tipo de triciclos, dejando las amortiguaciones y vibraciones que se producen en la estructura al sistema de suspensión del triciclo.



Figura 82: Cordón de soldadura de la base principal del bastidor

Lo más importantes en soldadura, es que cuando sus temperaturas aumentan los metales reaccionan muy rápidamente con la atmósfera. El método de proteger el metal fundido del ataque de la atmósfera, es el proceso MAG, con un gas activo que protege la soldadura y evita posibles fallas en puntos críticos del bastidor.

3.10.8. Proceso de pintura.

Para el proceso de pintura como primera fase se preparó las superficies del bastidor a pintar, ya que la calidad final del proceso de pintado electrostático depende principalmente del pre tratamiento de limpieza y desfosfotación que se le realice al producto, dado que las superficies a pintar deben estar perfectamente limpias, desengrasadas, libres de polvo, oxido, aceite, suciedad y grasa.



Figura 83: Preparación de las superficies del bastidor

A continuación se realizó la aplicación de Fosfato de Zinc y una vez que el metal estuvo completamente limpio y preparado se procedió al proceso de pintura, el cual se realiza en forma rápida, en un ambiente limpio y libre de impurezas que puedan contaminar el proceso.



Figura 84: Aplicación de Fosfato de Zinc

Una vez pintada la estructura, éstas son instaladas en el horno para realizar la cocción necesaria que permite la total adherencia de la pintura a la pieza de metal para una terminación definitiva.

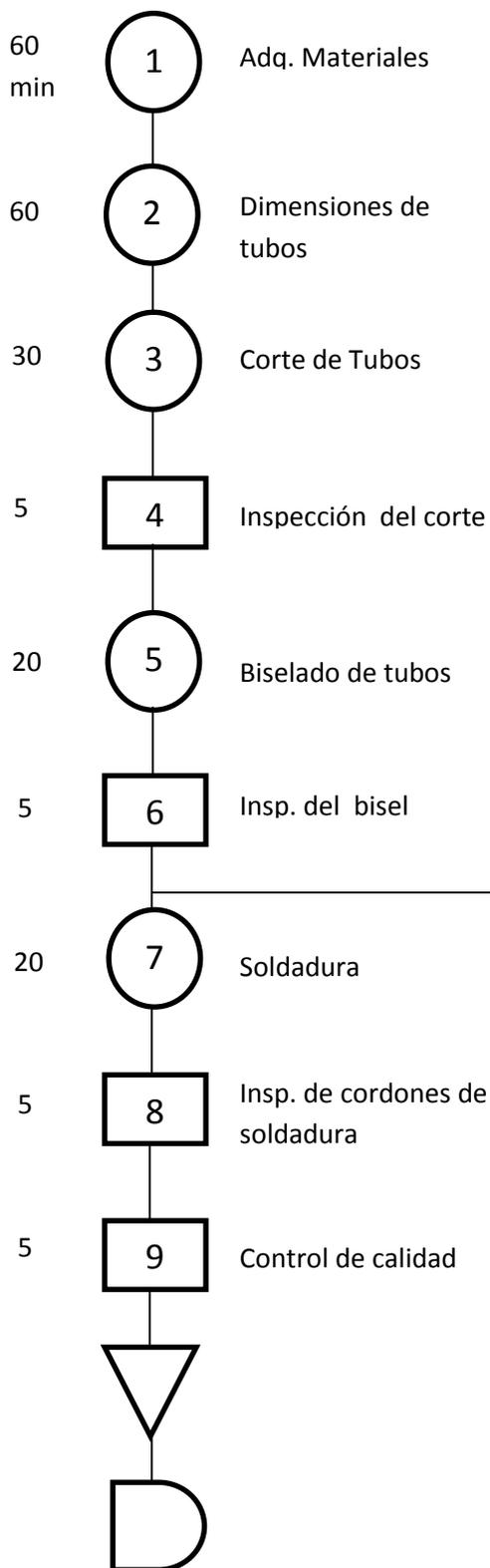


Figura 85: Aplicación de la Pintura Electroestática

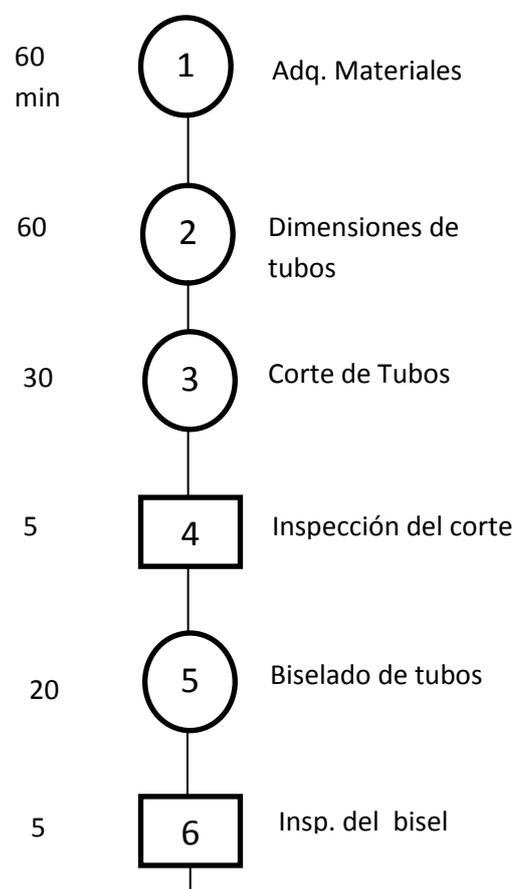
3.10.9. Diagrama de procesos.

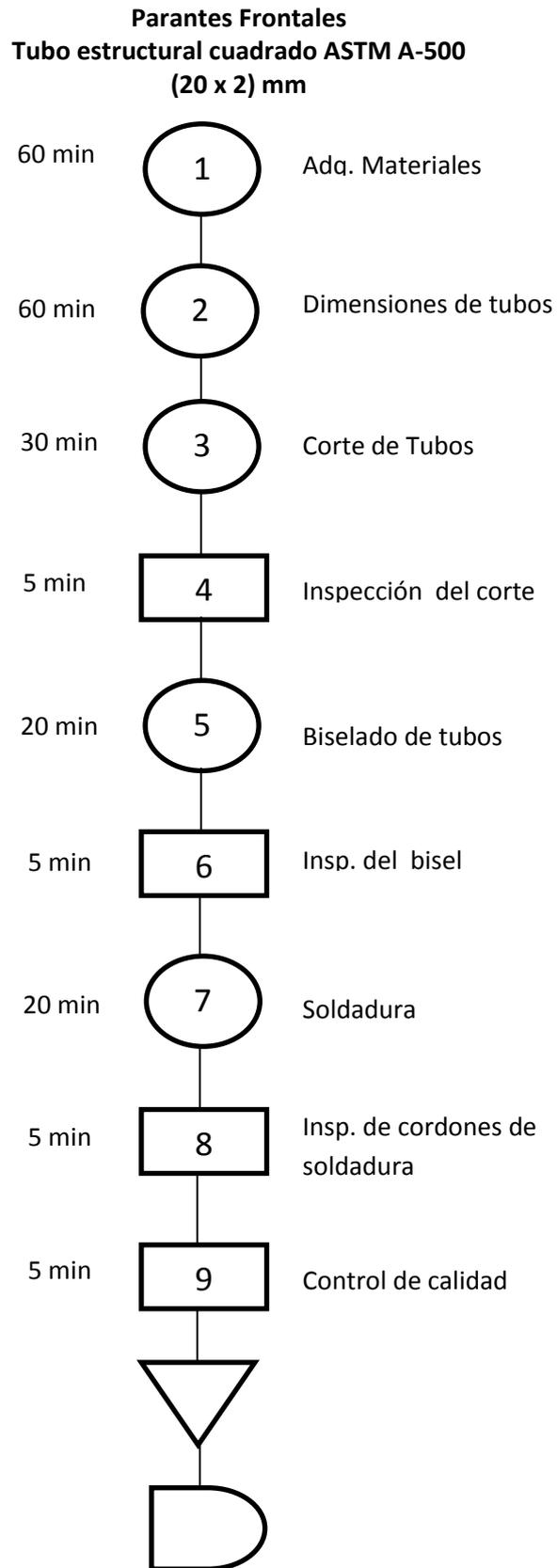
a. Proceso 1: Base del bastidor.

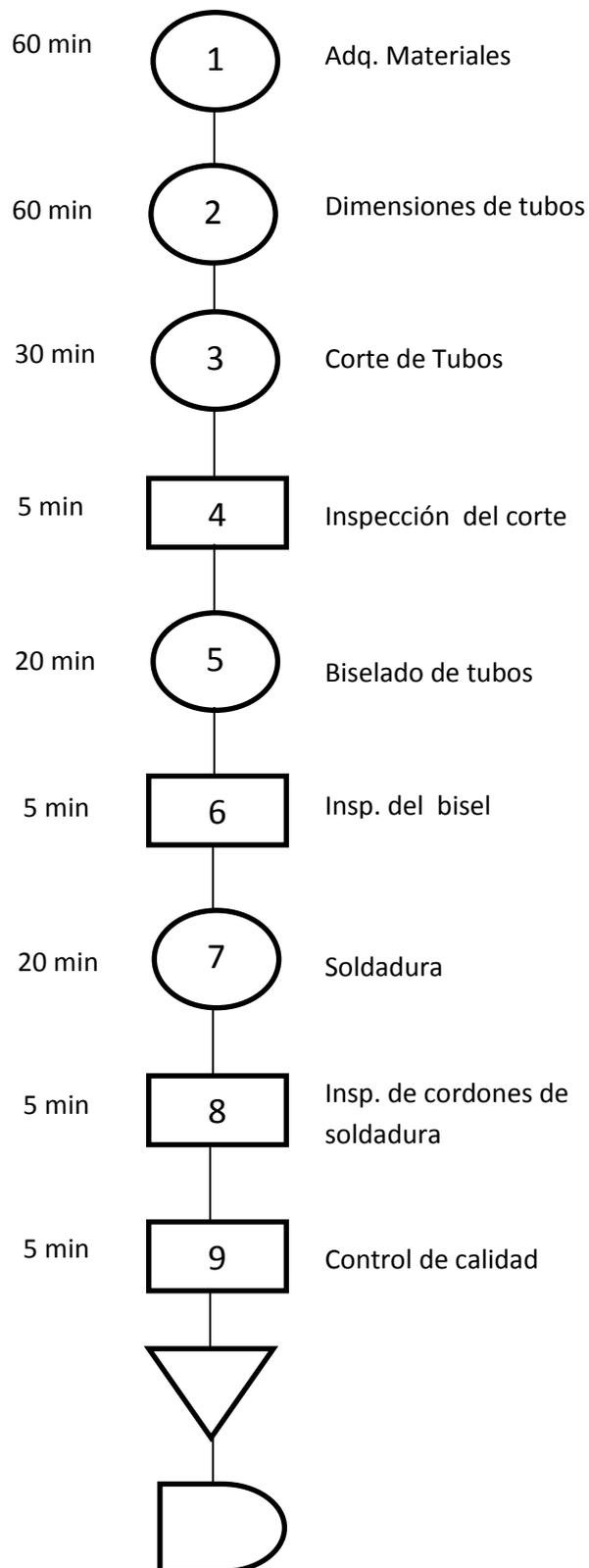
**Base del bastidor
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500
(40 x2) mm**

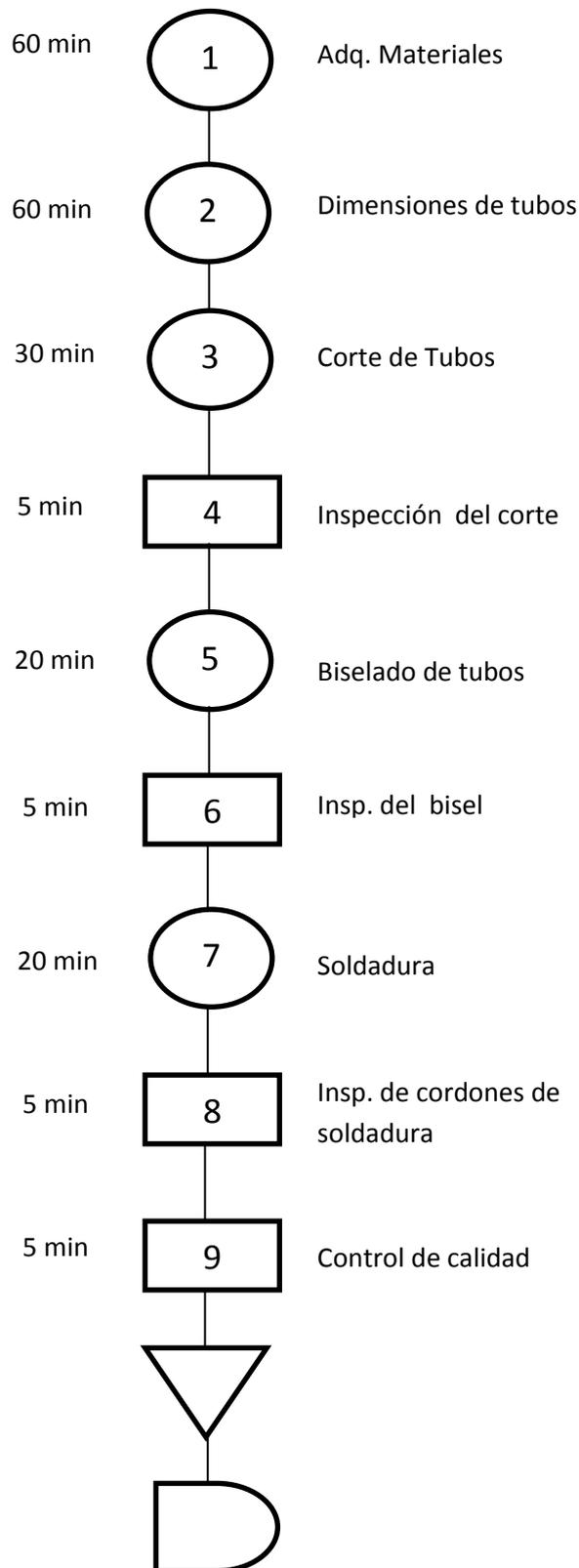


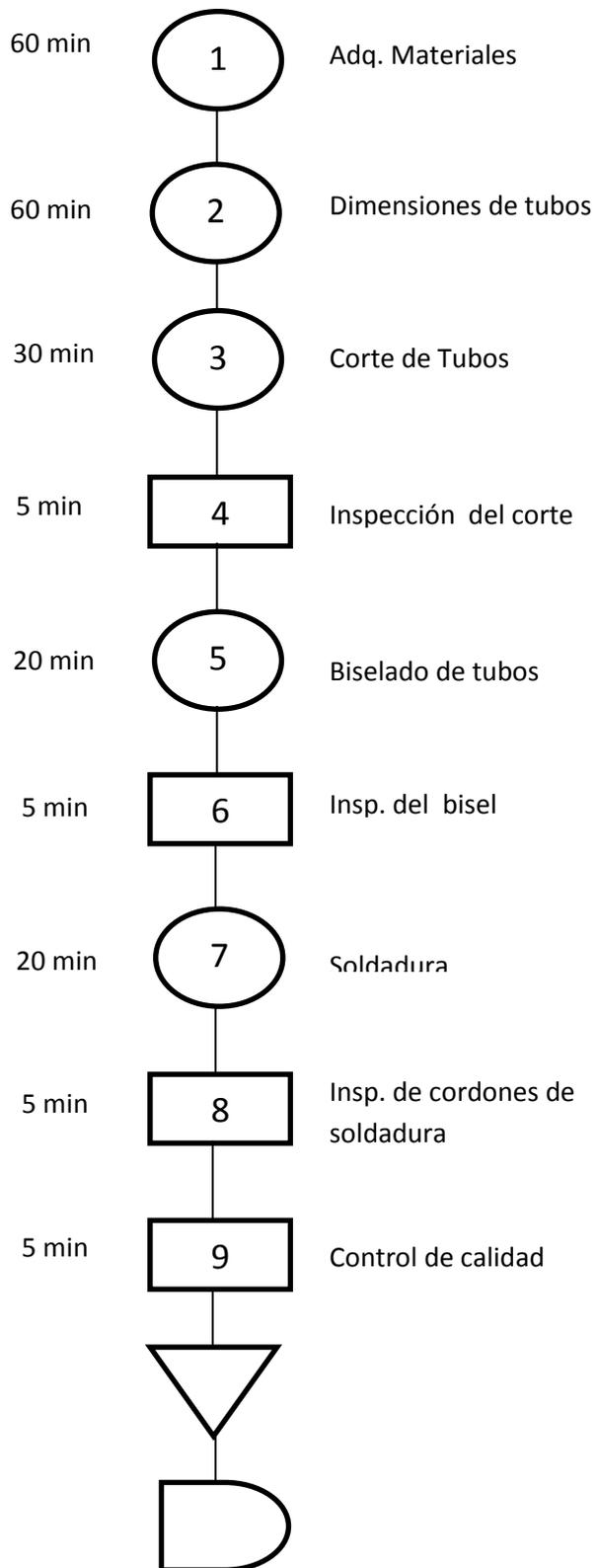
**Base del bastidor
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500
(20 x2) mm**



b. Proceso 2: Parantes Frontales.

c. Proceso 3: Tirantes de la Sección Frontal Superior.**Tirantes de la Sección Frontal Superior
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500
(20 x2) mm**

d. Proceso 4: Estructura de Impactos Laterales.**Estructura de Impactos Laterales
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500
(20 x 2) mm**

e. Proceso 5: Anclaje del Sistema de Suspensión.**Anclaje del Sistema de Suspensión
Tubo estructural cuadrado ASTM A-500
(20 x2) mm**

f. Proceso 6: Bastidor.

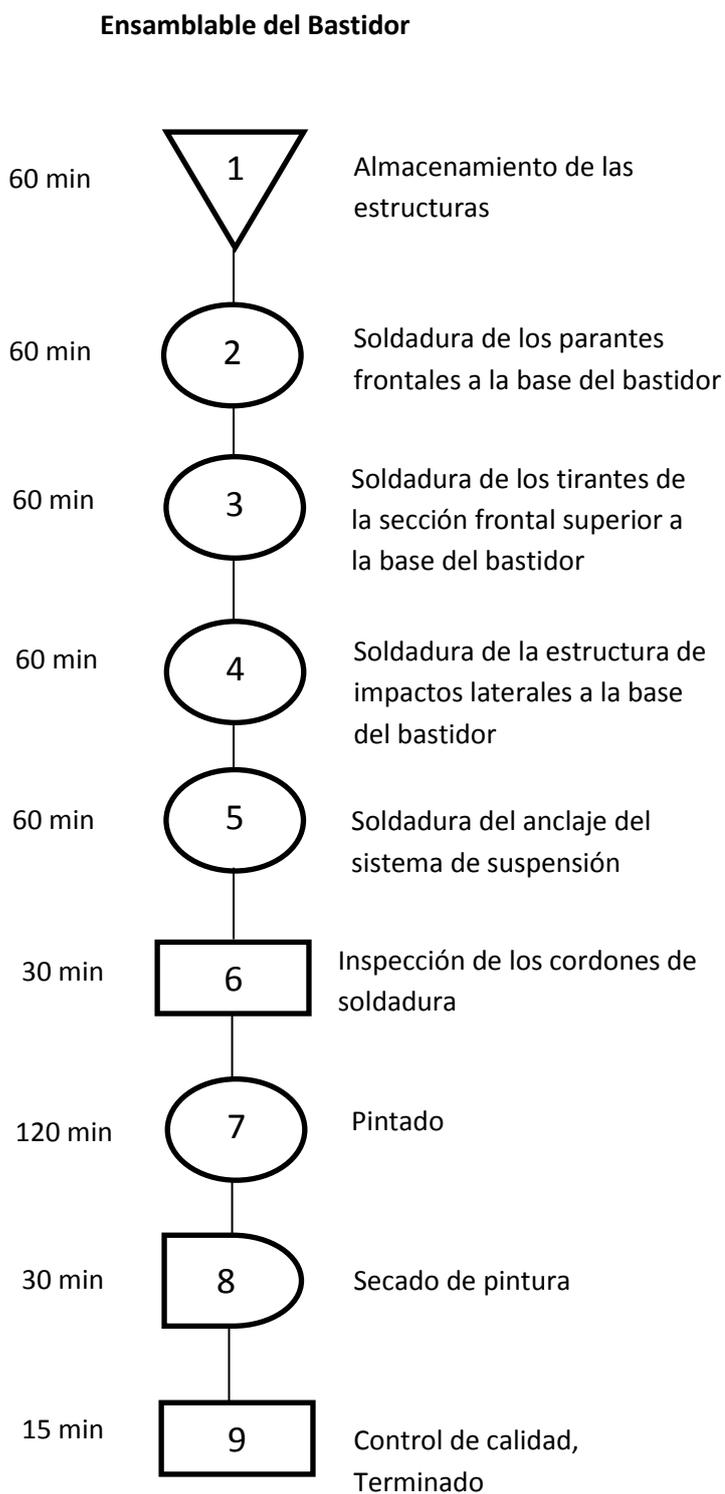


Tabla 15
Resumen de procesos, bastidor

| EVENTO | TIEMPO |
|---------------------------|--------------------|
| Construcción del Bastidor | 28.75 horas |

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA

4.1. Diseño de la carrocería, asistido por Solidworks.

La carrocería del Triciclo Monoplaza Eléctrico es un elemento que permite cubrir todos los componentes internos del mismo, así también influye directamente en la aerodinámica del vehículo y es el encargado de distribuir el flujo de aire a través del mismo.

4.1.1. Proceso de modelado de la carrocería.

Antes del proceso de modelado, se consideró los siguientes aspectos:

- El tipo de material para la fabricación de la carrocería, pues de éste depende tanto el peso, costo, como de su fácil manufactura.
- Las dimensiones del bastidor.
- Los espacios en las partes laterales para alojar accesorios extras como son los circuitos eléctricos, cargadores y baterías.
- La forma aerodinámica que debe poseer, para obtener un óptimo flujo de aire.

Considerando los aspectos mencionados anteriormente, se procede a modelar la carrocería, utilizando el software SOLIDWORKS.

- La modelación inicia por la parte delantera del triciclo. Este proceso consiste en realizar bocetos en 2D y 3D teniendo como referencia el bastidor terminado que se modeló en el capítulo 3, en la Figura 86 se puede apreciar el boceto de la carrocería.

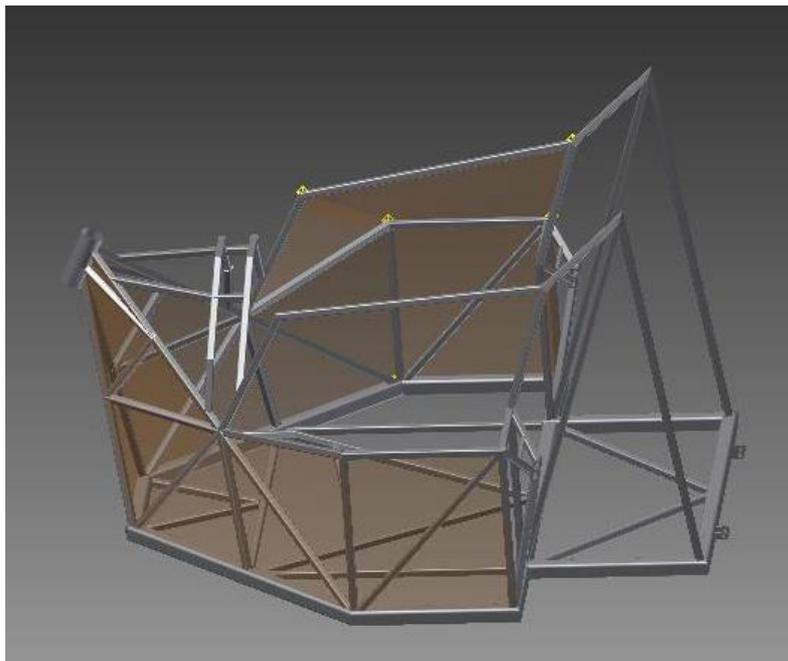


Figura 86: Boceto de la parte delantera de la carrocería

- A continuación se procedió a modelar las dos partes laterales del triciclo con sus respectivas curvas, las mismas que ayudan al libre flujo de aire, evitando así flujos turbulentos, lo cual produce que el vehículo pierda potencia y por ende velocidad. En la Figura 87 se puede observar la modelación de las partes laterales.

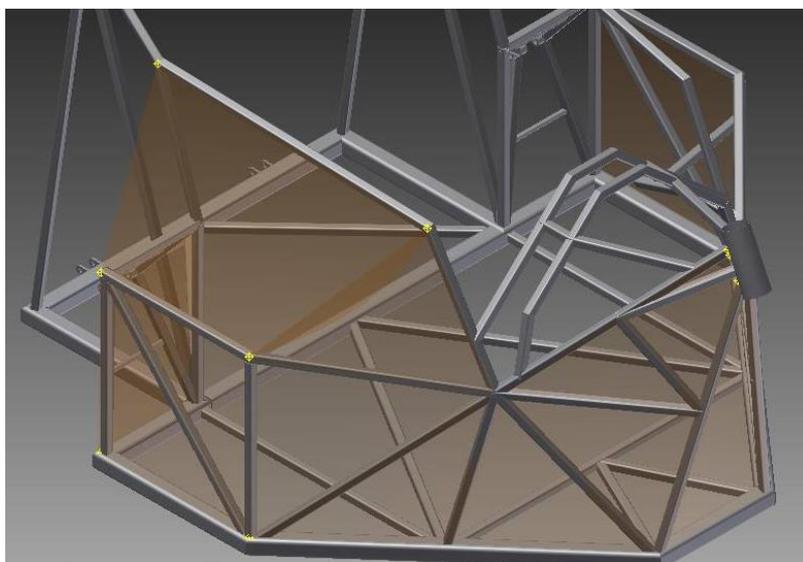


Figura 87: Boceto de la parte delantera y lateral de la carrocería

- Con el trazado de las partes principales de bastidor, se procede a ensamblarlas y realizar un solo cuerpo, en la figura 88 se muestra la carrocería lista para darle los acabados finales, como son los redondeados en las esquinas y

detalles de diseño, también se procede a eliminar líneas de construcción que ayudaron como referencia.

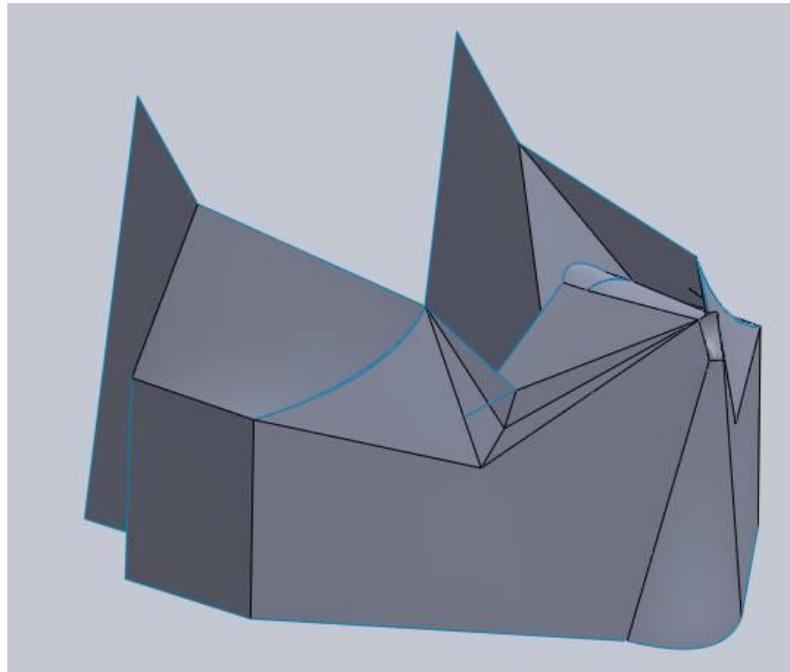


Figura 88: Boceto de la carrocería indefinida

- Por último, se procede a realizar los acabados finales como el color definitivo y las características del material utilizado. En la Figura 89 se observa la carrocería terminada y ensamblada al chasis.

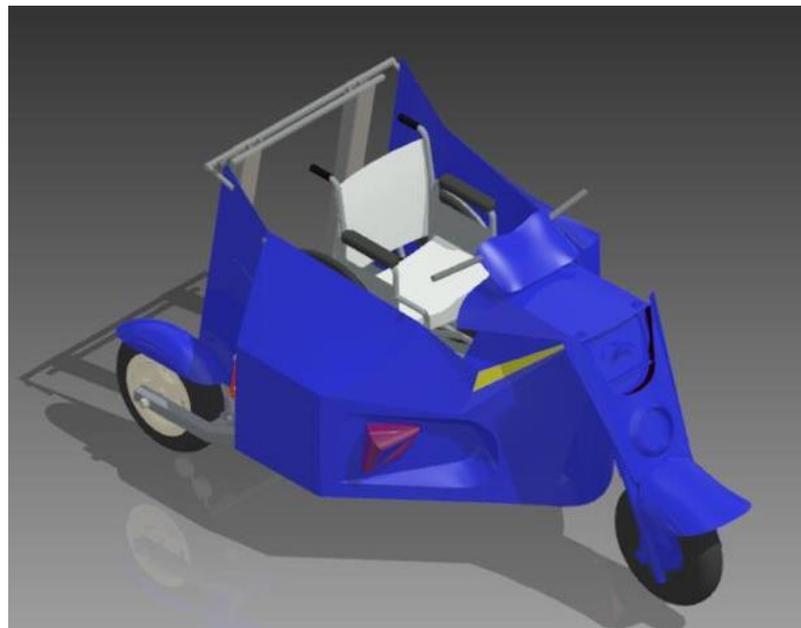


Figura 89: Carrocería terminada y ensamblada al chasis

4.2. Simulación de la carrocería.

4.2.1. Proceso de simulación de la carrocería y resultados.

El proceso de simulación a seguir es el siguiente:

- Terminada totalmente la carrocería en el software de diseño Solidworks, se trasfiere el modelo al software CAE para su respectivo análisis aerodinámico.
- Con la carrocería lista en el software CAE, se realiza el mallado completo de dicho cuerpo, para determinar fallas de construcción que puedan afectar la correcta simulación.
- Terminado el mallado, se ingresan los parámetros para la simulación como son: el lugar de entrada y salida del fluido (aire), la presión a la que está sometido, la temperatura del aire, velocidad del flujo de aire, etc.
- Con todos los parámetros antes establecidos se ejecuta la simulación. Terminada la simulación se podrán visualizar los resultados.

a. Resultados de simulación.

Alrededor de la carrocería se observan las líneas que simbolizan el flujo del aire, las mismas que cambian de color según la velocidad que adquiere el mismo, tal como se muestra en la Figura 90 y 91. En la parte izquierda del software se codifica el color de las líneas con una tabla en función de la velocidad (m/s).

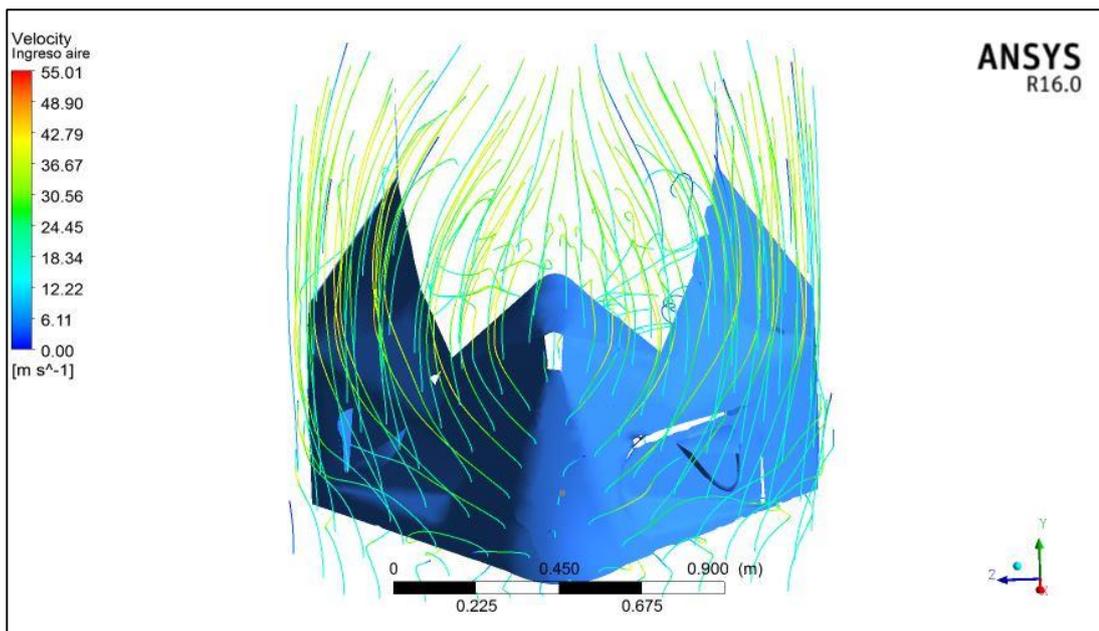


Figura 90: Resultado de la velocidad del aire

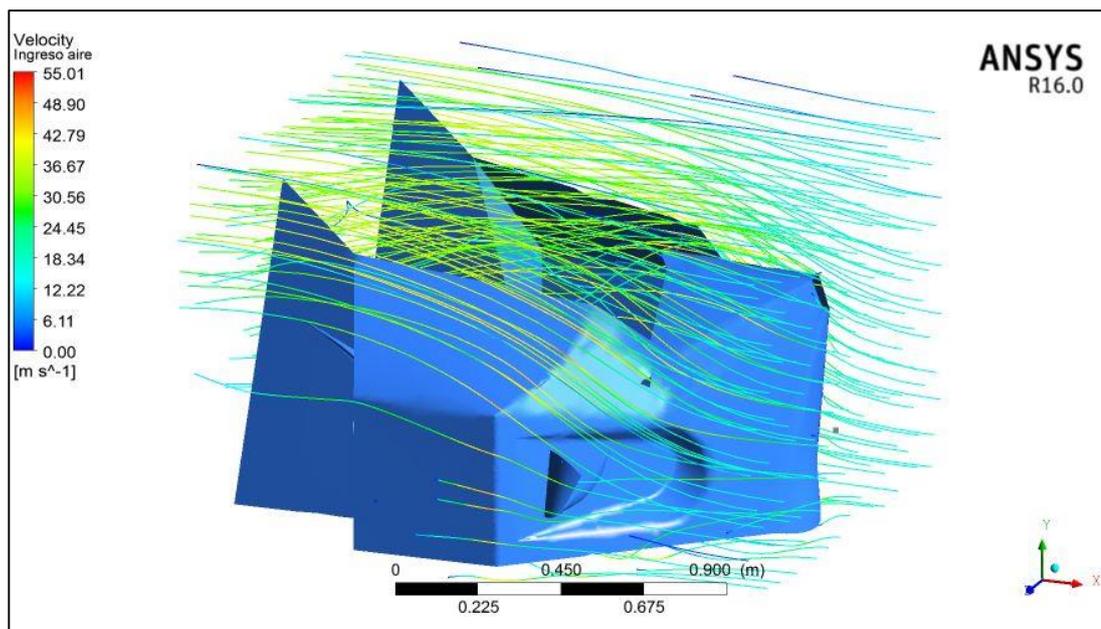


Figura 91: Resultado de la velocidad del aire (Vista Lateral)

En la Figura 92 se observa la variación de los puntos de presión en función de la superficie completa de la carrocería, se observa que la mayor presión se presenta en la parte frontal de la misma; es decir, en la parte donde la carrocería rompe el flujo de aire.

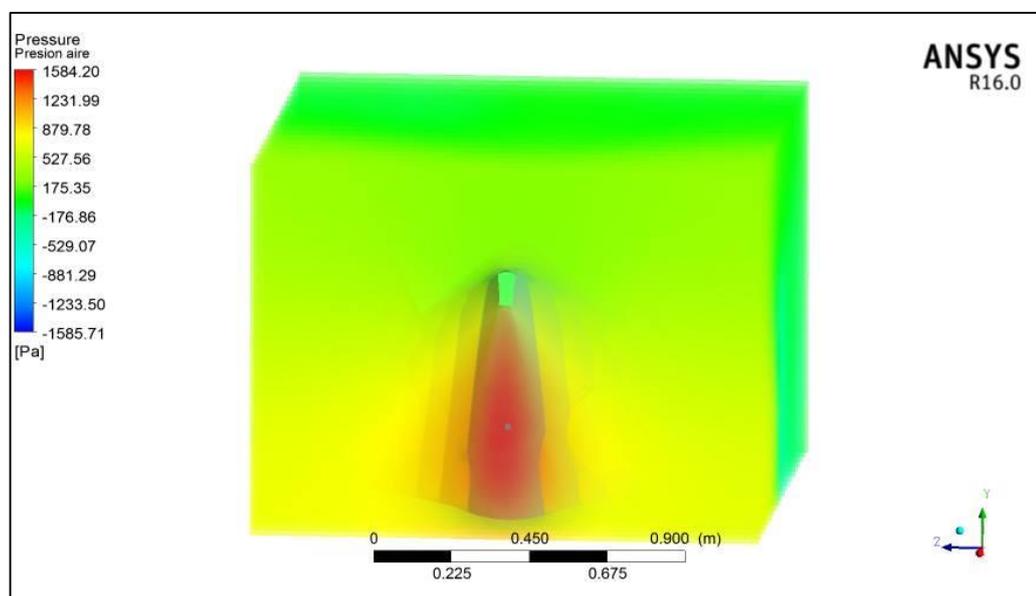


Figura 92: Resultado de la presión ejercida por aire

4.3. Construcción de la carrocería.

Teniendo en consideración que la estructura del bastidor es rígida y que éste es quien va a soportar directamente todas las cargas a las que va a estar expuesto el

triciclo. La carrocería, no cumple ninguna función estructural más que brindar al vehículo un aspecto aerodinámico y estético, y mantener la protección a los ocupantes.

4.3.1. Elaboración del Molde

Se realiza un molde para la carrocería, con materiales fáciles de desmontar, para ello se acopla a la estructura del bastidor cartón, teniendo en cuenta la geometría y curvatura que se quiera obtener, este material es fácil de cortar y se pueden corregir sin ninguna dificultad imprecisiones en las medidas tanto en la parte frontal y lateral de la carrocería.



Figura 93: Modelación

Previo a la aplicación de la cera desmoldante y para facilidad en el momento del desprendimiento el cartón empleado para el molde, es necesario aplicar cinta masking en todas las áreas, esto ayudará a desprender con gran facilidad el cartón del molde base.

4.3.2. Aplicación de cera desmoldante.

Culminado el proceso de moldeado con cartón, se aplica cera desmoldante en todas las áreas, por lo menos dos veces, de manera que permanezca bien encerada. La aplicación de cera es importante ya que así se evitará los desperfectos en el molde base al momento de desprender.



Figura 94: Cera Desmoldante

La fibra de vidrio se corta en pequeños rectángulos de 300 x 200 mm, de tal forma que facilite su manipulación. Es muy importante utilizar equipo de protección como gafas de seguridad, mascarillas y guantes.



Figura 95: Corte de la Fibra de Vidrio

Es importante mezclar y dosificar en cantidades y proporciones correctas los ingredientes para cada uno de las aplicaciones.



Figura 96: Preparación de la mezcla

a. Consideraciones y Precauciones.

Hay que tener en cuenta y especial interés en lo siguiente:

- El tiempo de gelado en la resina es provocado por el azul cobalto que es el que lo pre acelera, esto quiere decir qué es lo que causa que la resina se ponga gelatinosa o más viscosa , y a mayor cantidad de azul cobalto en la proporción de la resina, más gelatinosa y espesa será y también catalizará más rápido.
- Las sustancias químicas para el trabajo con la fibra de vidrio, son de complejo manejo además de inflamables, en especial en el caso del catalizador (peróxido de metil-etil-cetona), pues es altamente volátil y reactivo, el mismo que no se puede exponer al sol o calor extremo.
- Nunca, por ningún motivo deberán mezclarse el catalizador y el azul cobalto (acelerador) pues estos reaccionan violentamente.

4.3.3. Aplicación de la fibra de vidrio.

Para su aplicación, sobre el modelo de cartón se colocan los rectángulos de fibra de vidrio, remojándolos con la mezcla proporcional de resina, estireno y el catalizador, de tal manera que se cubran completamente cada una de las áreas a

aplicar; cuando la primera capa de fibra esté seca, se aplica una segunda capa, el tiempo a considerar para un secado total es de 12 horas y así lograr un cuerpo sólido que permita despegarse el cartón del molde sin daños o deformación alguna.



Figura 97: Colocación de la fibra de vidrio

4.3.4. Lijado de la fibra de vidrio.

Realizada la aplicación de la fibra de vidrio sobre el molde de cartón y transcurrido el tiempo idóneo de secado se procedió a realizar el lijado de las superficies de la carrocería, a fin de obtener un acabado más uniforme, evitando así áreas con exceso de fibra.



Figura 98: Lijado de la fibra de vidrio

Realizado todos estos detalles, se procedió a realizar los cortes necesarios con mucho cuidado, para ello se contó con la ayuda de una amoladora eléctrica manual.

4.3.5. Obtención de la carrocería.

Concluido el proceso de lijado de la fibra de vidrio y terminado cada uno de los cortes, se limpió la superficie de la carrocería quedando libre de suciedad y polvo para posteriormente trabajar en el masillado y lijado de la misma, fue importante cubrir a detalle las imperfecciones de manera que se obtuvo una excelente uniformidad en toda la superficie de la carrocería.



Figura 99: Masillado y lijado de la carrocería

4.3.6. Pintado de la carrocería.

Previo al proceso de pintura se aplicó fondo gris, de tal manera que al momento de pintar, éste se adhiriera correctamente, aparte de servir como base principal de la pintura.



Figura 99: Fondo Gris para colores sólidos

Al momento de pintar la carrocería, se usó exclusivamente pintura automotriz. Existen muchos tipos de acabados automotrices, como por ejemplo el poliuretano, lacas y acrílicos. Pero si bien es cierto que el poliuretano da unos resultados impresionantes, resulta difícil mezclar en las proporciones correctas de pintura y secante en cantidades pequeñas. Por su simplicidad de uso, se utilizó las llamadas lacas acrílicas, comúnmente llamada acrílica automotriz. Estas pinturas solo necesitan thinner (adelgazante) y listo.

Es **IMPORTANTE** aclarar, que aunque se llaman acrílicos, no son ni parecidas a la pintura acrílica regular a base de agua que estamos acostumbrados a usar.

Los acrílicos automotrices son muy espesos. Para adelgazarla correctamente, tenemos que usar una proporción de hasta 6 a 7 partes de thinner por cada parte de pintura. Es muy importante usar el thinner adecuado, en este caso thinner acrílico.

La aplicación de la pintura debe ser uniforme. Esto se consiguió haciendo movimientos paralelos a la superficie a pintar, a unos 30 cm de distancia de la punta de la pistola a la carrocería. Las áreas a pintar fueron de un metro a metro y medio como máximo, manteniendo el ángulo de la pistola siempre a 90 grados. La pintura no se aplica más de 8 segundos sobre un mismo punto, debido a que ocasionaría escurrimientos. Teniendo en cuenta tres movimientos consecutivos en la misma área donde se aplicó la pintura, se consideró la primera capa, siendo tres de éstas las que se aplicaron.

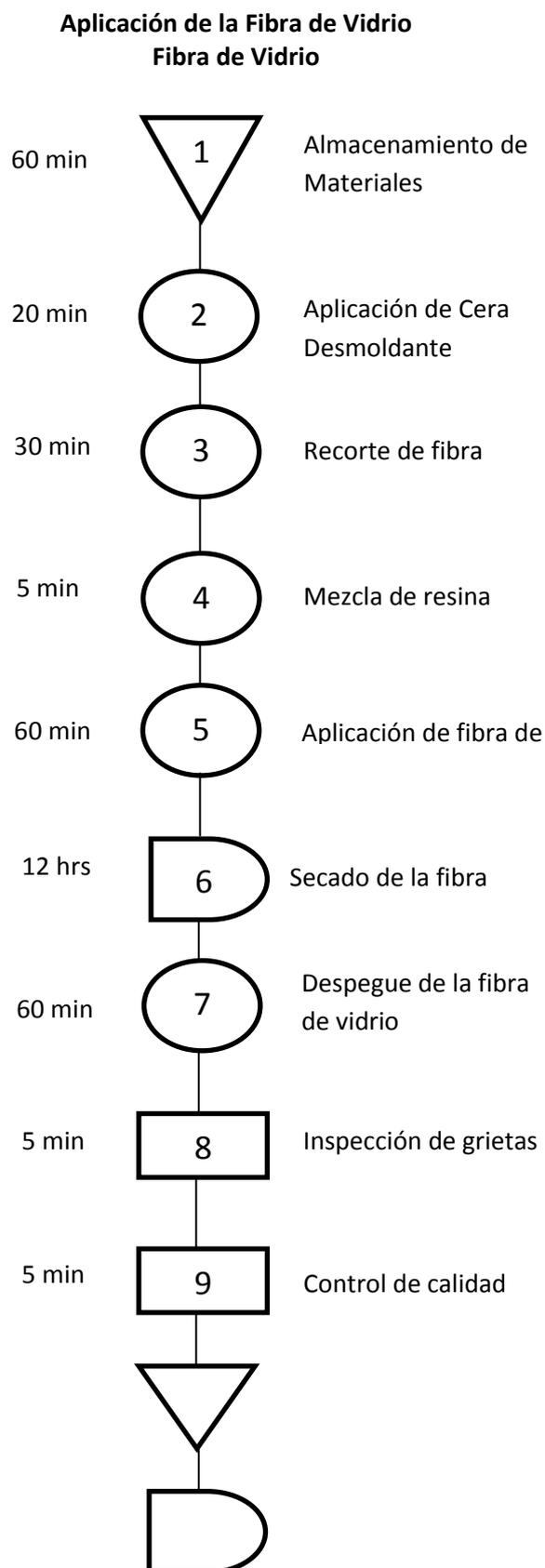
4.3.7. Pulido y acabado final.

El proceso final del trabajo de pintura de la carrocería fue el pulido. Éste se realizó con el fin de eliminar las imperfecciones de la pintura como: ojos de pescado, pelusas, entre otros.

Cuando se pinta un automóvil, las capas nunca quedan lisas, de tal forma que al realizar el pulido de la pintura se ayuda a corregir las imperfecciones y a obtener una superficie uniforme.

4.3.8 Diagrama de procesos.

a. Proceso 1: Aplicación de la Fibra de Vidrio.



b. Proceso 2: Carrocería.

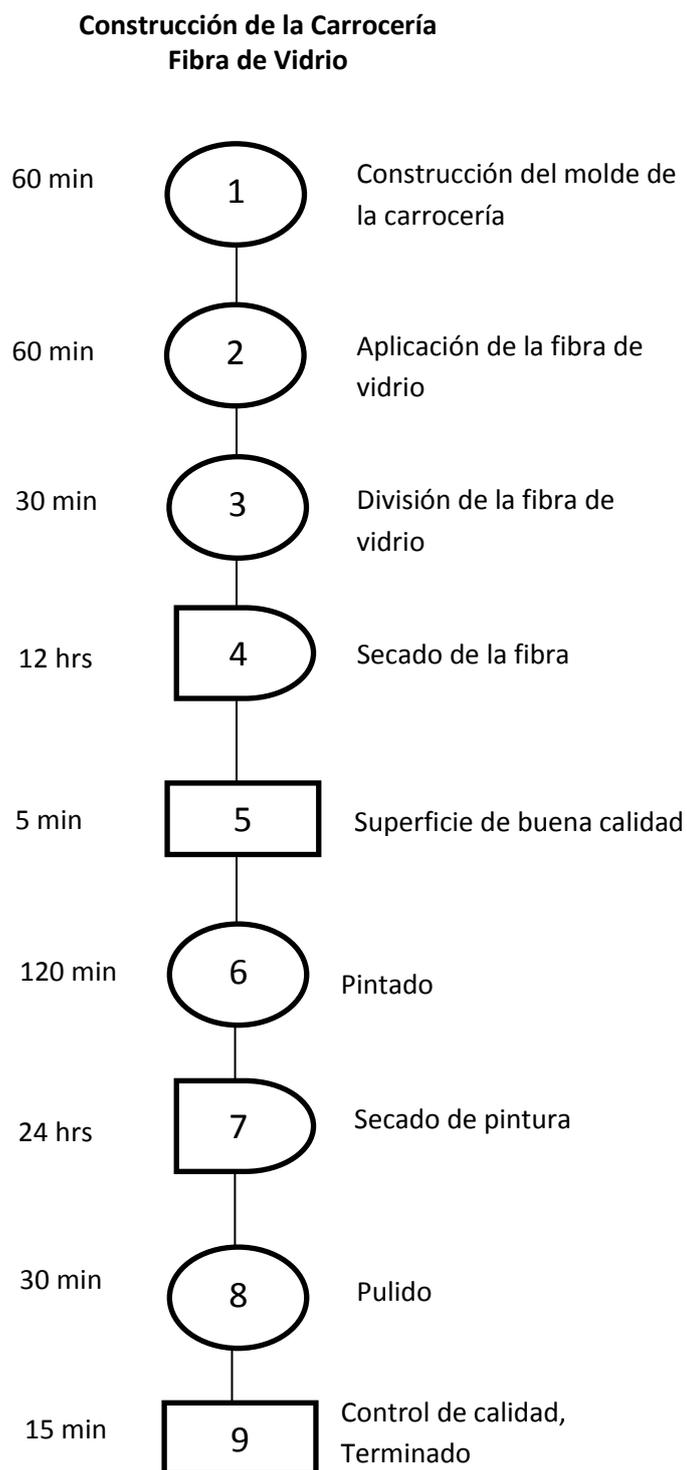


Tabla 16
Resumen de procesos, carrocería

| EVENTO | TIEMPO |
|-------------------------------|--------------------|
| Construcción de la Carrocería | 57.41 horas |

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Análisis de resultados del bastidor.

Para una mayor exactitud y fiabilidad en el diseño, se ha requerido que el software CAE proporcione los siguientes análisis:

Deformación total, ya que es necesario determinar el límite máximo que la estructura se va a deformar al aplicar las cargas anteriormente enunciadas.

Deformación Unitaria, ya que determina el límite de fluencia del material.

Tensión equivalente (Von Mises), “Richard E. Von Mises propuso que un material dúctil sufría fallo elástico cuando la energía de distorsión elástica rebasa cierto valor” (Norton, 2005), por esta razón, se necesita verificar si la tensión equivalente de Von Mises no supera el límite de fluencia máximo que soporta el acero ASTM A-500.

Factor de seguridad, ya que éste indica la fiabilidad del diseño o si éste está sobre dimensionado.

Factor de seguridad a fatiga, ya que la fatiga es un fenómeno que conduce a la rotura de una pieza mecánica a causa de cargas repetidas.

Vida, ya que la vida útil del bastidor determina la resistencia a la fatiga del mismo.

5.1.1. Deformación total.

Al obtener estos datos, se puede observar en la gráfica, como varía la deformación dependiendo del área y del tipo de tubo.

Tabla 17
Deformación Total

| | |
|--------------------------|------------|
| Deformación Total Máxima | 0.56097 mm |
| Deformación Total Mínima | 0 mm |

El diseño no va a tener una variación mayor que 0.56 mm, valor mínimo que no representa una deformación permanente en la estructura.

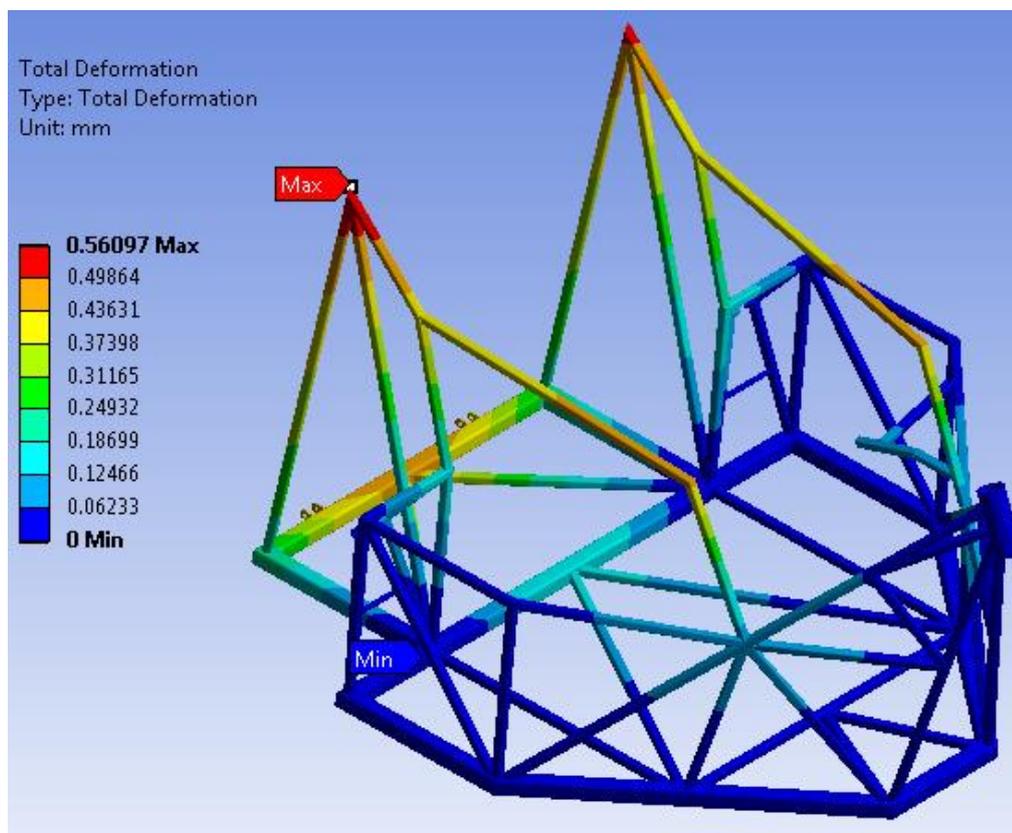


Figura 100: Deformación Total

5.1.2. Deformación unitaria.

El valor resultante máximo nos indica que el comportamiento de la estructura se está produciendo dentro de la zona elástica del material, por lo concerniente el bastidor no sufre deformaciones permanentes.

Tabla 18
Deformación Unitaria

| | |
|-----------------------------|------------|
| Deformación Unitaria Máxima | 0.00042 |
| Deformación Unitaria Mínima | 7.9756e-18 |

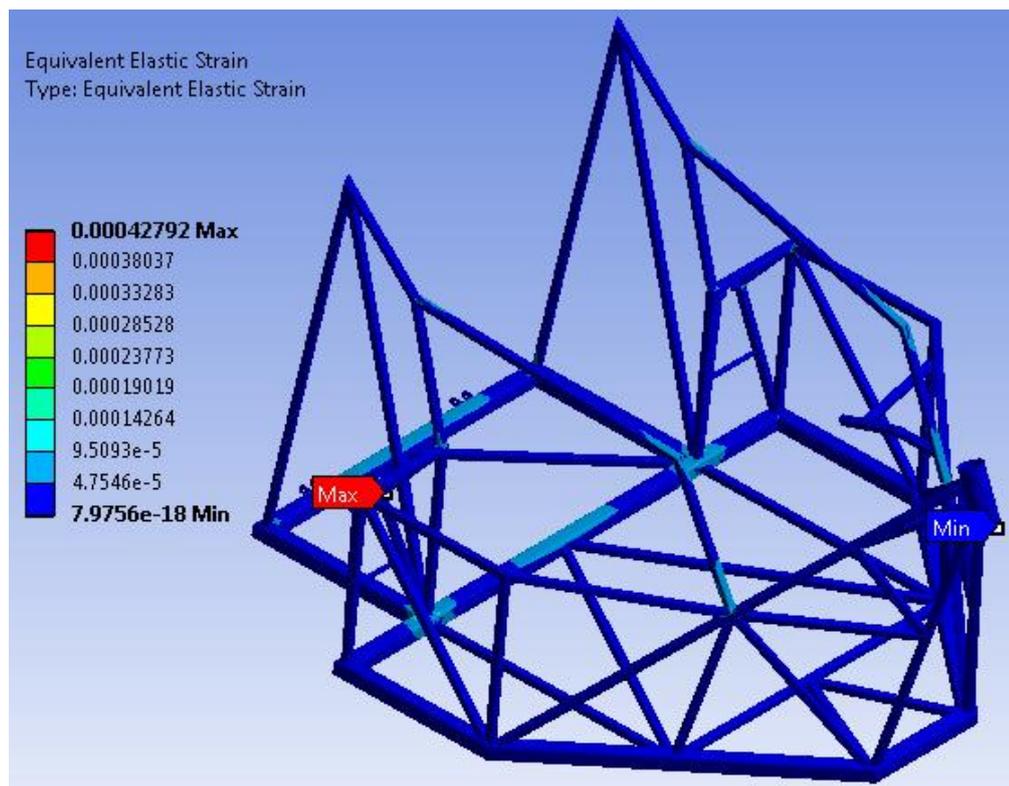


Figura 101: Deformación Unitaria

5.1.3. Esfuerzo equivalente de Von Mises.

Con los datos obtenidos acerca de la tensión equivalente, se compara con el límite de fluencia del material.

Tabla 19
Tensión equivalente (Von Mises)

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Tensión Equivalente | 85.584 MPa |
| Máxima obtenida | |
| Límite de fluencia acero ASTM A-500 | 320 MPa |

El valor de la tensión equivalente de Von Mises se encuentra por debajo del límite de fluencia del material empleado en el proceso de diseño

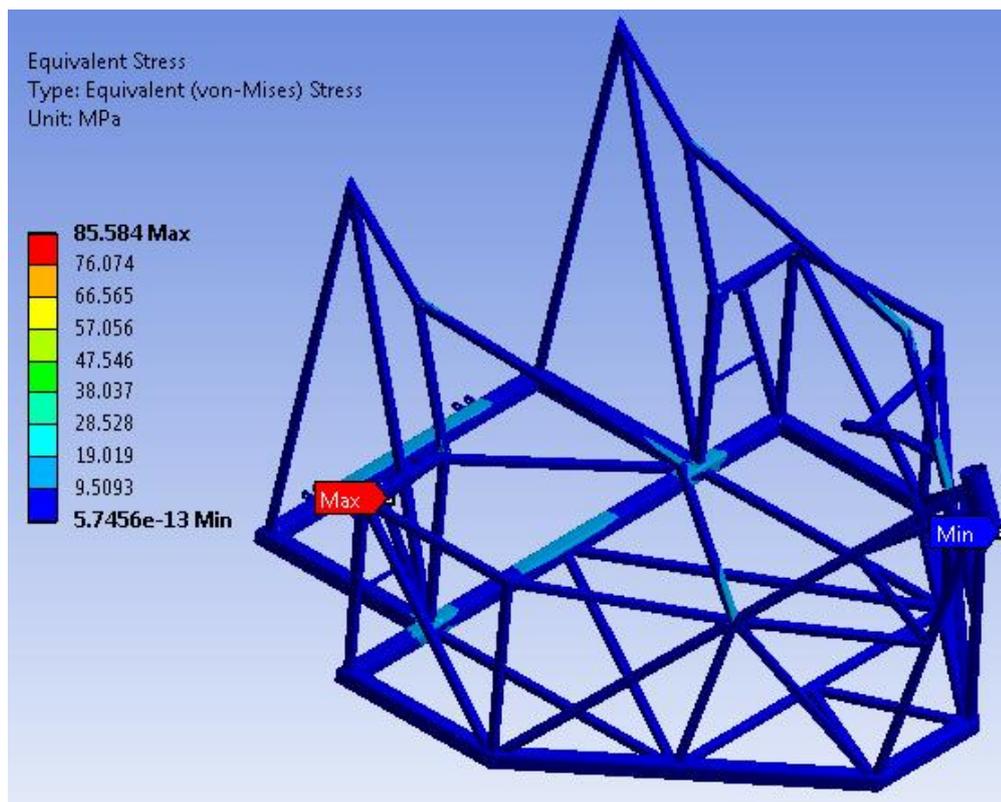


Figura 102: Tensión equivalente (Von Mises)

5.1.4. Factor de seguridad.

“En ingeniería se utiliza el factor de seguridad para asegurarse de no tener condiciones inciertas o desconocidas.” (Pérez J., 2012). El factor de seguridad, indicará si el diseño es factible.

Tabla 20
Factor de Seguridad

| | |
|----------------------------|---------------|
| Factor de Seguridad | 2.9211 |
| Mínimo | |

El valor obtenido se encuentra dentro del rango establecido para mantener su integridad en cualquier condición de funcionamiento, los valores referenciales para estructuras se encuentran entre 2.5 – 4.

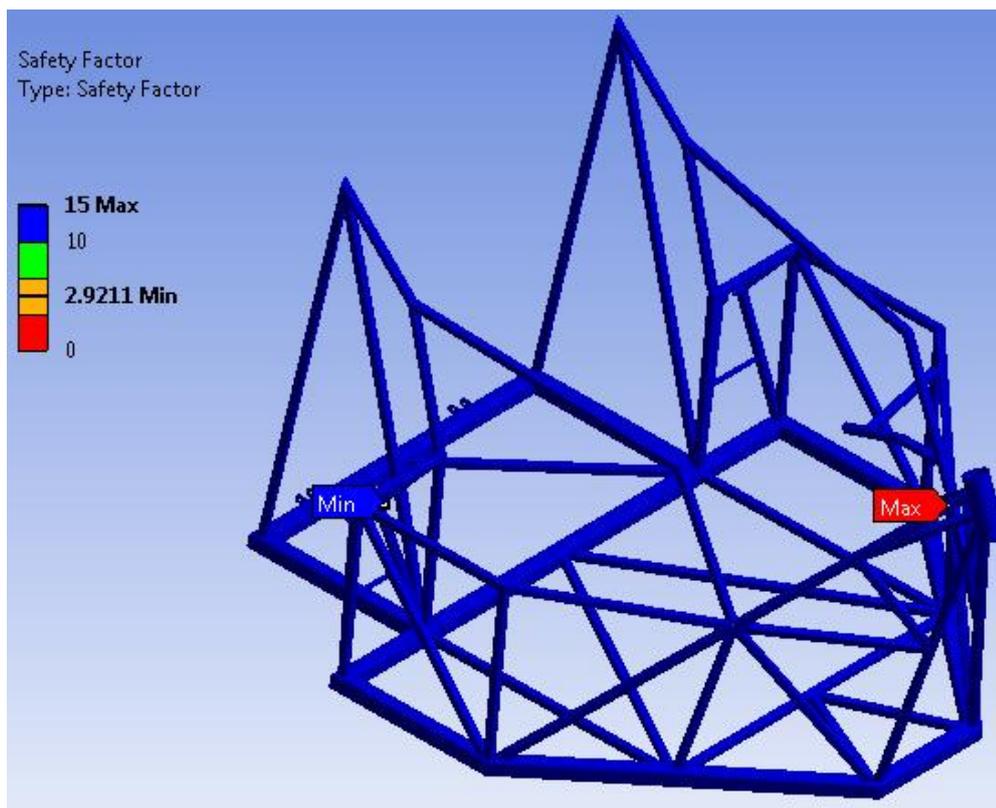


Figura 103: Factor de Seguridad

5.1.5. Factor de seguridad a fatiga.

La teoría utilizada para el análisis del bastidor es la de Soderberg la cual se utiliza para el análisis de la resistencia de piezas sometidas a tensiones fluctuantes.

Tabla 21
Factor de Seguridad a Fatiga

| | |
|-------------------------------------|------|
| Factor de Seguridad a Fatiga Mínimo | 1.72 |
|-------------------------------------|------|

El factor de seguridad mínimo obtenido bajo el análisis de fatiga es de 1.72 valor que explícitamente estipula que el bastidor resistirá cualquier condición extrema de funcionamiento.

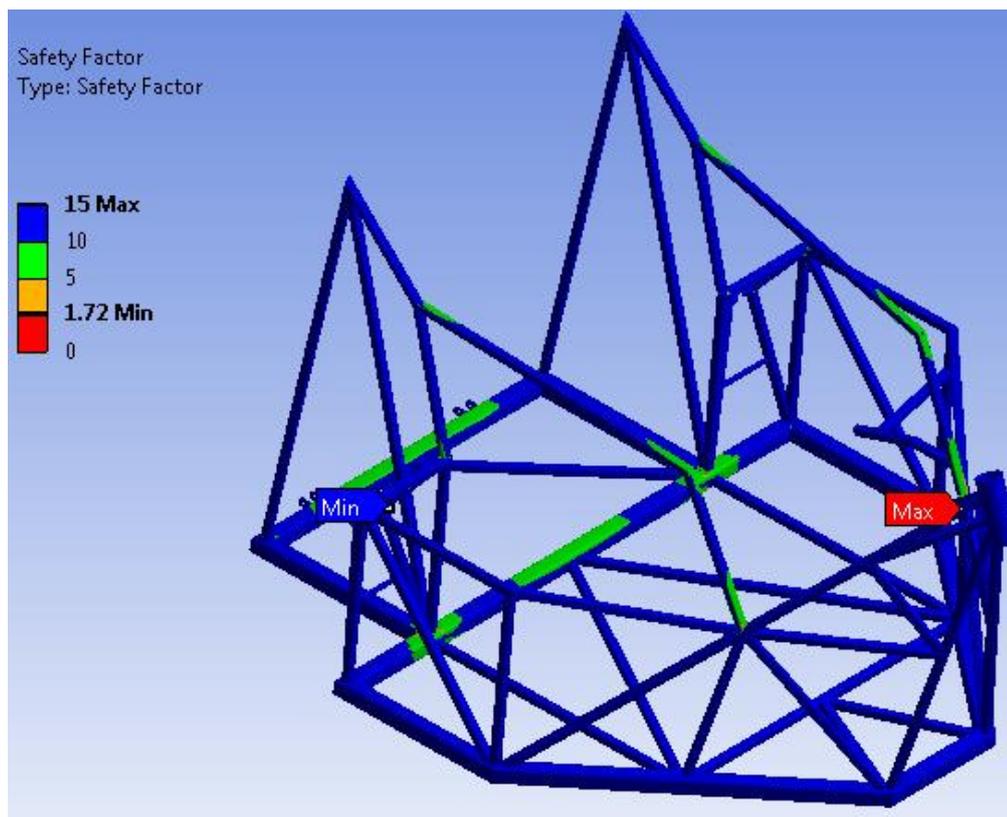


Figura 104: Factor de Seguridad a Fatiga

5.1.6. Vida útil.

El valor de vida determinado para el bastidor es un numero de ciclos, $N > 10^6$, por lo cual se obtiene una vida infinita para este componente.

Tabla 22
Vida Útil

| | |
|-----------|----------|
| Vida Útil | 10^6 N |
|-----------|----------|

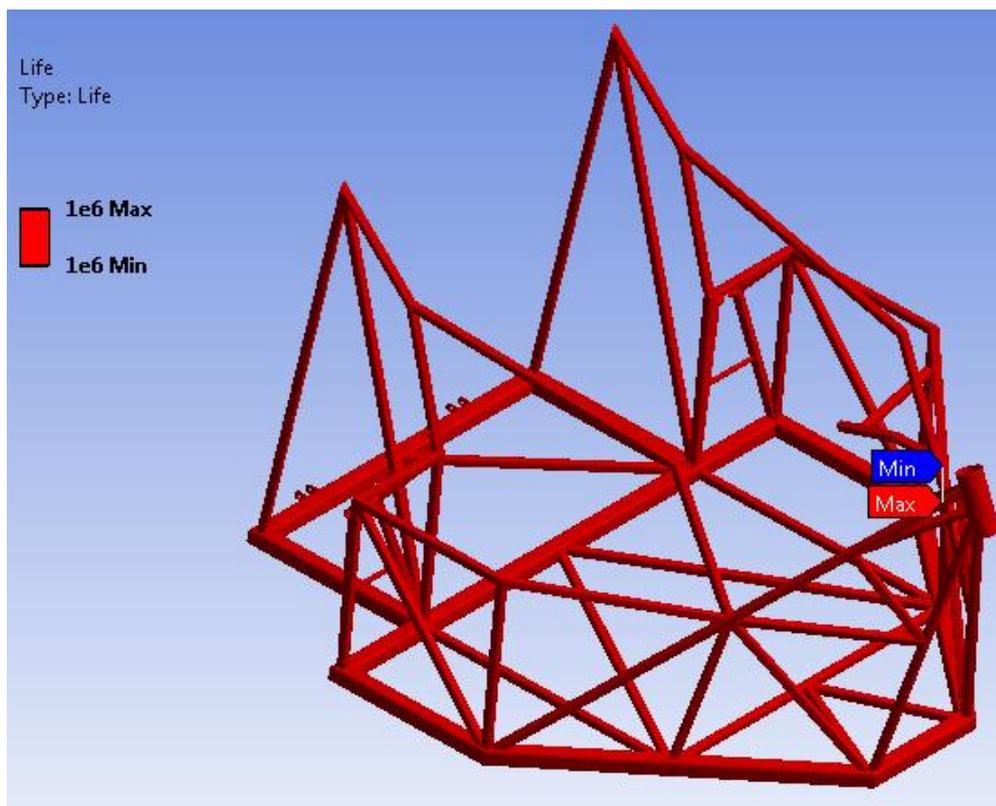


Figura 105: Vida Útil

5.2. Análisis de resultados de la carrocería.

A la velocidad del viento de 55 Km/h, y con la geometría que tiene la carrocería, se puede observar que existen las siguientes presiones:

Tabla 23
Análisis de Presión

| | |
|-----------------|-------------|
| Presión Máxima | 1584.2 Pa |
| Presión Mfínima | -1581.71 Pa |

Transformando la presión máxima que proporciona el resultado del análisis, se obtiene una presión de 0.027 atm, indicando que la carrocería no ejerce una oposición al movimiento del viento relevante.

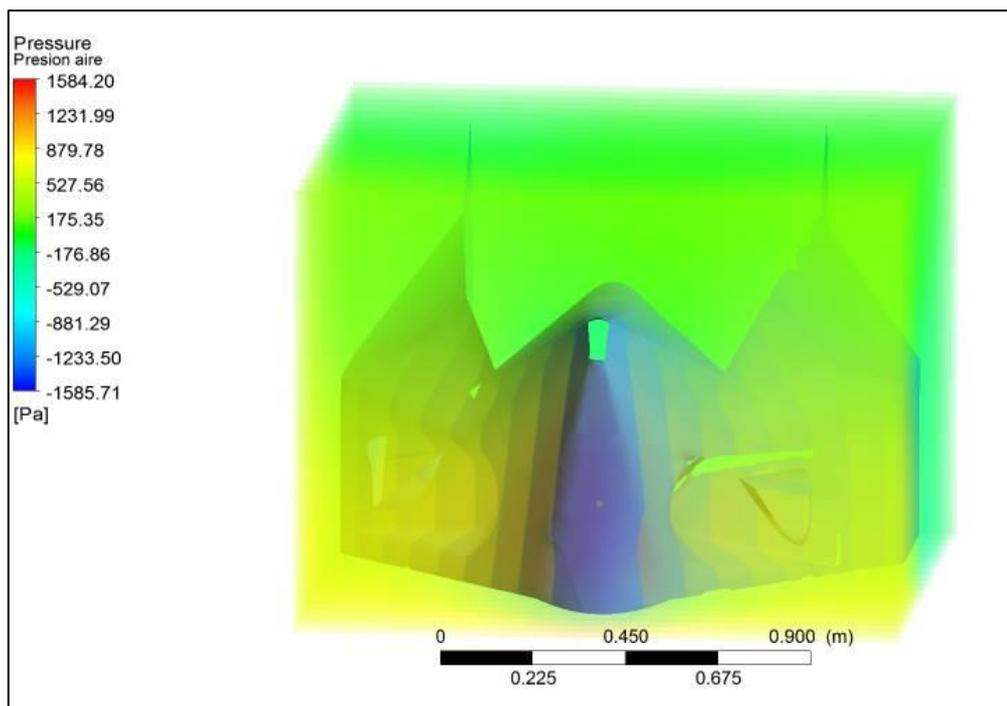


Figura 106: Análisis de la presión del aire.

Para el análisis de velocidad del viento, gráficamente se puede apreciar el recorrido del viento y observar en qué lugares existe mayor flujo de aire:

Tabla 24
Análisis de Velocidad del aire

| | |
|------------------|-----------|
| Velocidad Máxima | 55.01 m/s |
| Velocidad Mínima | 0 m/s |

El aire tiene una velocidad máxima de 55.01 m/s, en los lugares más críticos, pero tiene una velocidad de 0 m/s en las zonas con más resistencia. Si se observa la gráfica, se puede analizar que la velocidad en promedio del aire es de 27.5 m/s; en conclusión, el aire tiene un buen flujo y la carrocería es aerodinámica, ya que no presenta mucha oposición al movimiento.

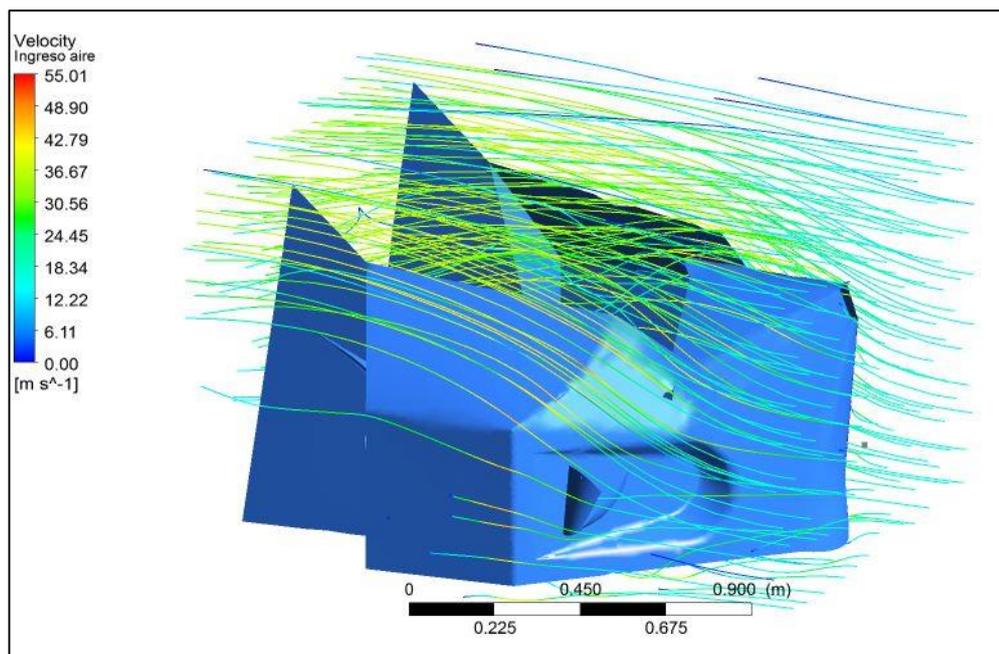


Figura 107: Análisis de la velocidad máxima y mínima del aire

5.3. Análisis de costos.

Se consideran los costos directos como materiales, mano de obra, alquiler de maquinaria y costos de operación.

5.3.1. Costo de materiales (CM).

Tabla 25
Costos de materiales

| CANTIDAD | MATERIAL | P. UNITARIO | P. TOTAL |
|----------|---------------------------------------|-------------|----------|
| 10 | Tubo cuadrado ASTM A-500 (20x2) mm | 8.30 | 83 |
| 1 | Tubo cuadrado ASTM A-500 (40x2) mm | 20 | 20 |
| 4 | Disco de desbaste 4 ½" | 1.57 | 6.28 |
| 10 | Disco de corte 4 ½" x 1/16 | 1.4 | 14 |
| 2 | Disco de corte 7" | 4.85 | 9.7 |
| 2 | Sierra | 1.34 | 2.68 |
| 2 | Escuadra falsa | 4.48 | 8.96 |
| 4 | Tiza industrial | 0.20 | 0.80 |

CONTINÚA



| | | | |
|--------|------------------------------------|-------|-------------------|
| 3 | Brocha de 3" | 2.50 | 7.50 |
| 25 lt. | Thinner | 1.50 | 37.50 |
| 15 | Lija de agua #80 | 0.34 | 5.10 |
| 10 | Lija de agua #220 | 0.24 | 2.40 |
| 10 | Envase plástico (gl) | 0.50 | 5.00 |
| 4 | Fondo de adherencia metal (lt) | 7.84 | 31.36 |
| 5 | Carbonato (kg) | 3.49 | 17.15 |
| 6 | Lija de hierro | 0.60 | 3.60 |
| 2 | Masillero | 0.80 | 1.60 |
| 16 | Cartón (pliego) | 2.10 | 33.60 |
| 3 | Cera Antiadherente (kg) | 18.20 | 18.20 |
| 7 | Masking automotriz 1 ½" | 3.80 | 26.6 |
| 15 | Fibra de Vidrio (kg) | 3.37 | 50.55 |
| 20 | Resina Poliéster (kg) | 3.63 | 72.60 |
| 8 | Estireno (kg) | 3.17 | 25.36 |
| 0.5 | Malla tejida ¼ x 0.90 (m) | 4.25 | 2.13 |
| 2 | Endurecedor Pintura Mate (lt) | 16.85 | 33.7 |
| 1 | Catalizador Pintura | 66.36 | 66.36 |
| 2 | Barniz Poliuretano Mate (lt) | 16.55 | 33.10 |
| 1 | Masilla Plástica Catalizadora (gl) | 17.5 | 17.5 |
| | TOTAL | | 636.33 USD |

5.3.2. Costo de mano de obra (CMO).

Tabla 26
Costos de mano de obra

| OPERARIO | No. HORAS | COSTO/HORA | COSTO TOTAL |
|------------------------|--------------|------------|----------------|
| Tec. Metal/Mecánica | 24 | 5 | 120 |
| Tec. Soldador | 16 | 5 | 80 |
| Aux. en soldadura | 16 | 2.5 | 40 |
| Tornero | 3 | 7 | 21 |
| Tec. Fibras y Acabados | 160 | 3.5 | 560 |
| | TOTAL | | 821 USD |

5.3.3. Costo de alquiler de maquinaria (CAM).

Tabla 27
Costos de alquiler de maquinaria

| MAQUINARIA | TIEMPO (h) | COSTO ALQUILER (\$) | COSTO TOTAL (\$) |
|------------------------------------|------------|---------------------|------------------|
| Soldadora Miller | 16 | 5 | 80 |
| Amoladora Hitachi | 10 | 3 | 30 |
| Taladro manual Hitachi | 3 | 2 | 6 |
| Cortadora Manual de pedestal | 4 | 3 | 12 |
| Esmeril DeWalt | 4 | 2 | 8 |
| Taladro de pedestal BendPak | 2 | 4 | 8 |
| Horno de Pintura Electrostática | 2 | 100 | 200 |
| | | Total | 344 USD |

5.3.4. Costo total.

Lo determina la sumatoria de los diferentes costos antes establecidos, así el costo total de la máquina será:

$$\text{Costo Total} = \text{CM} + \text{CMO} + \text{CAM}$$

$$\text{Costo Total} = (636.33 + 821 + 344) \text{ USD}$$

$$\text{Costo Total} = 1801.33 \text{ USD}$$

Adicional se estipula un Costo de Imprevistos que equivale a 5% del Costo Total determinándose así un Costo Total Real.

$$\text{Costo Total Real} = (1801.33 + 90.06) \text{ USD}$$

$$\text{Costo Total Real} = 1891.39 \text{ USD}$$

COSTO TOTAL REAL

■ COSTO DE MATERIAL ■ COSTO MANO DE OBRA
■ COSTO MAQUINARIA ■ COSTO DE IMPREVISTOS

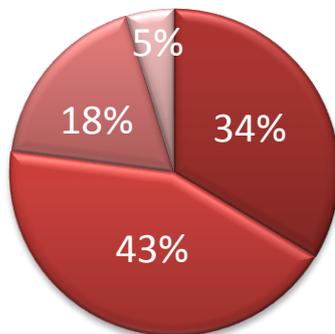


Figura 108: Resumen Porcentual de Costos

Conclusiones.

- El bastidor y la carrocería del Triciclo Monoplaza Eléctrico fueron diseñados y construidos haciendo uso de manufactura ecuatoriana, y asistido por software de diseño.
- El diseño del bastidor permite que las cargas aplicadas al mismo lo deformen como valor máximo en 0.56 mm, siendo un bastidor de gran fiabilidad para la construcción.
- El esfuerzo equivalente de Von Mises provocado en el bastidor fue de 85.584 MPa y el límite de fluencia del Acero ASTM A-300 fue de 320 MPa, lo que indica que el material seleccionado soporta las cargas estáticas, resultando un factor de seguridad mínimo de 2.92, lo que aseguró un correcto diseño de la estructura del bastidor.
- Se comprobó que la fibra de vidrio es la mejor opción para realizar la carrocería del triciclo monoplaza, debido a la durabilidad del material, peso, costo y la facilidad de manejo.
- En el análisis aerodinámico, la velocidad del viento fue de 55 Km/h y provocó una presión máxima en la carrocería de 1584.2 Pa equivalente a 0.027 atm, indicando que el diseño es muy aerodinámico y que no ejerce mayor oposición al movimiento.
- De acuerdo a los diferentes análisis realizados tanto en el bastidor como en la carrocería se determinó que el diseño es totalmente confiable y que cumplió con las expectativas propuestas.

Recomendaciones.

- Para diseño de bastidores empleados en vehículos eléctricos se deben considerar aspectos importantes tales como: Dimensionamiento, peso y costo.
- Realizar el diseño del bastidor y la carrocería con un programa de diseño mecánico, de tal forma que exista una mayor precisión tanto en dimensiones como en los análisis de esfuerzos.
- Se recomienda el uso de perfiles metálicos de sección cuadrada, específicamente en diseños estructurales, debido a su forma cerrada y bajo peso, obteniendo así grandes ventajas y un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo.
- Determinar una correcta dosificación en la preparación de la fibra de vidrio, ya que de esto depende el tiempo de aplicación, tiempo de secado y calidad del acabado.
- Utilizar en todo momento EPP tales como guantes, mascarilla, gafas de seguridad y evitar el contacto con la piel durante la preparación de la fibra de vidrio, debido a que la exposición constante puede ocasionar lesiones y alergias. Además condiciones de trabajo adecuados.

Bibliografía.

- Alonso, J. M. (2009). *Técnicas del Automóvil*. Madrid: Paraninfo.
- Alonso, J. M. (2011). *Técnicas de Automovil*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Asta, E. (2012). *Fundamnetos de Soldadura por Arco Eléctrico*. México, D.F.: Noriega.
- Calvo Rodriguez, A. (2010). *Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de Formula SAE*. Madrid: Universidad Pontífica de Comillas.
- Giachino, J., & Weeks, W. (2007). *Técnica y práctica de la soldadura*. Barcelona: Reverté.
- Gómez, T. (2012). *Estructuras del Vehículo*. Madrid: Paraninfo.
- Groover, M. P. (1997). Emsamble por Soldadura. En M. P. Groover, *Procesos de Manufactura*. México D.F.: Pearson.
- Lincoln, K. (2012). *Soldeo Manual con Electroodos*. México, D.F.: Paraninfo.
- Mancheño Perez, M., & Fernández López, C. (2012). *Manual de Prácticas de Soldadura de Electrodo revestido*. Barcelona: Paraninfo.
- Martinez, R. (2010). *Criterios para Seleccionar Sistemas de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora (CAD/CAM)*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- McCormac, J. (2008). *Diseño de Estructuras de Acero*. México, D.F.: Alfaomega.
- McCormac, J. (2009). *Diseño de Estructuras Metálicas*. Salvador: Marcombo.
- Norton, R. (2005). *Diseño de Maquinaria*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Pérez, J. M. (2008). *Técnicas del Automóvil CHASIS*. Madrid: Mc Graw Hill
- Rengifo, A. (2009) *Efectos de las variables en el proceso de soldadura GMAW (MIG/MAG)*. México, D.F.: Paraninfo
- Serrulle, J. (2010). *Humanidad y Naturaleza*. Alicante: Mc Graw Hill.

Netgrafía.

Guardiola Villora, A. (15 de 03 de 2010). *Universidad Politécnica de Valencia*. (Recuperado el 12 de 08 de 2015), de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7816/calculo-uniones-soldadas.pdf>

PROYECTO FSAE UTP, P. (2011). *URT*. (Recuperado el 10 de 07 de 2015), de <http://urfsae.blogspot.com/2011/02/disenos-del-chasis.html>

Acesco. (2013). (Recuperado el 07 de 07 de 2015), de http://www.acesco.com/acesco/images/stories/Manuales/MANUAL_PERFILES_Final-BAJA.pdf.

Acurio Recalde, M. A. (17 de 07 de 2013). *Biblioteca UTPL*. (Recuperado el 07 de 03 de 2014), de Biblioteca UTPL: http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/8020/1/Acurio_Recalde_Monica_Anabelly.pdf

Alós. (14 de 03 de 2013). *AutomocionBlog*. (Recuperado el 01 de 07 de 2015), de <http://www.automocionblog.com/post/37351/campagna-t-rex-16s-3-un-tres-ruedas-con-motor-bmw>

Andrade , A. (15 de 10 de 2009). (Recuperado el 08 de 07 de 2015), de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf>

Aratec. (15 de 06 de 2011). *Cálculo Mecánico de las Uniones Soldadas*. (Recuperado el 12 de 08 de 2015), de http://ingemecanica.com/tutoriales/tutorialesdelasemana/Tutorial_N46_2011.pdf

Arteaga, C. (24 de 07 de 2007). *Proceso GMAW*. (Recuperado el 12 de 08 de 2015), de <http://facuminspsold.blogspot.com/2007/07/variables-de-gmaw.html>

Artés, D. (27 de 11 de 2011). *Diario motor*. (Recuperado el 11 de 08 de 2015), de <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/11/27/enemigos-de-la-eficiencia-la-resistencia-aerodinamica/>

Frei, W. (22 de 10 de 2013). *COMSOL*. (Recuperado el 11 de 7 de 2015), de <http://www.comsol.com/blogs/meshing-considerations-linear-static-problems/>

Gaona, J. (10 de 03 de 2015). *CONADIS*. (Recuperado el 11 de 8 de 2015), de <https://public.tableau.com/profile/javier.gaona#!/vizhome/DICAPACIDADESECUADOR/Discapacidades>

Grupo Carman. (23 de 10 de 2014). *Grupo Carman*. (Recuperado el 13 de 08 de 2015), de <http://grupocarman.com/blog/tipos-de-software-cadcaecam/>

INEC. (05 de 06 de 2010). *INEC*. (Recuperado el 11 de 08 de 2015), de INEC: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

- INEN. (02 de 2009). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. (Recuperado el 12 de 08 de 2015), de <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/2015/ACO/28012015/nte-inen-1323-1.pdf>
- Leal Callirgos, F. (23 de 10 de 2012). *1ª FT AUTOMOCIÓN*. (Recuperado el 11 de 8 de 2015), de <http://eafflealsua12.blogspot.com/2012/10/tipos-de-carrocerias.html>
- Lincoln Electric. (2015). *Lincoln Electric*. (Recuperado el 07 de 07 de 2015), de <http://www.lincolnelectric.com/es-es/equipment/stick-welders/Pages/stick-welders.aspx>
- Llano Uribe, C. (2013). *Metal Actual*. (Recuperado el 10 de 07 de 2015), de http://www.metalactual.com/revista/10/procesos_soldadura.pdf
- Lopez, C. (07 de 12 de 2012). *Mecánica y Motores*. (Recuperado el 01 de 07 de 2015), de <http://www.mecanicaymotores.com/como-hacer-su-auto-mas-aerodinamico.html>
- Molero Hidalgo, B. (06 de 2010). *Iberisa*. (Recuperado el 13 de 08 de 2015), de <http://www.iberisa.com/soporte/fatiga/intro.htm>
- Motor. (2012). *Deportes Online*. (Recuperado el 7 de 07 de 2015), de <http://diario.deportesonline.com/que-es-el-coeficiente-aerodinamico-de-un-coche>
- Motor Giga. (29 de 04 de 2011). *Motor Giga*. (Recuperado el 11 de 08 de 2015), de <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/x-bastidor-en-definicion-significado/gmx-niv15-con195990.htm>
- Novacero. (2015). *Novacero*. (Recuperado el 07 de 07 de 2015), de <http://www.novacero.com/catalogo-productos/cptuberia-estructural/tubo.html#tubos-redondos>
- Ocaña. (02 de 06 de 2011). *STUDYBLUE*. (Recuperado el 07 de 07 de 2015), de <https://www.studyblue.com/notes/note/n/fcaw/deck/944200>
- Pino, A. (2013). *Monografías*. (Recuperado el 11 de 07 de 2015), de <http://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion2.shtml>
- Plaza, A. (2009). *Motorpasión*. (Recuperado el 10 de 07 de 2015), de <http://www.motorpasion.com/categoria/formula1>
- RoCar. (08 de 05 de 2010). *RoCar Prototipos, S.L.* (Recuperado el 07 de 07 de 2015), de <http://www.prototipose2.com/foro/member/2-rocar>
- Rodriguez, C. (04 de 08 de 2014). *Technical Courses*. (Recuperado el 01 de 07 de 2015), de http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_index.php?pageNum_blogmostrar=1
- Roller, A. (2011). *F1 - Gears*. (Recuperado el 10 de 07 de 2015), de <http://www.f1-gears.com/showthread.php?t=178>

- Salamanca, D. (07 de 09 de 2013). *Mecánica básica*. (Recuperado el 11 de 08 de 2015), de <http://duverdt.blogspot.com/2013/11/estructura-metalica-del-automovil.html>
- Siemens. (2013). *Siemens*. (Recuperado el 10 de 07 de 2015), de http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cae.shtml
- Siemens. (07 de 2015). *Siemens*. (Recuperado el 13 de 08 de 2015), de http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml
- Silverio, M. (20 de 06 de 2014). *Civilgeeks*. (Recuperado el 12 de 08 de 2015), de <http://civilgeeks.com/2011/09/08/acero-ventajas-y-desventajas/>
- Soldadura. (07 de 07 de 2013). *Maquinas y Herramientas*. (Recuperado el 07 de 07 de 2015), de <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>
- Teran, C. (2010). *Taringa*. (Recuperado el 11 de 8 de 2015), de <http://www.taringa.net/posts/apuntes-y-monografias/8902691/Curso-de-mandatario-del-automotor--apunte-nro-3.html>
- UNICOM. (2014). *Soldadura*. (Recuperado el 12 de 08 de 2015), de http://www.unicon.com.ve/estructural_tubos_estructurales_recomendaciones.html

ANEXO



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **JUAN JOSÉ VEGA MOREIRA**

En la ciudad de Latacunga, a los: **20 días del mes de agosto del 2015.**

Ing. Stalin Mena

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA



Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO