



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

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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**AUTORES: CARLOS WILFRIDO CUNALATA CUNALATA  
JORGE SANTIAGO TERÁN VACA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y  
CARROCERÍA, DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA  
PLEGABLE, USANDO SOFTWARE CAD-CAE Y  
MANUFACTURA ECUATORIANA.**

**DIRECTOR: ING. ERNESTO SANTILLÁN  
CODIRECTOR: ING. WILLIAM BONILLA**

**LATACUNGA, AGOSTO 2014**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE****CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ****DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

CARLOS WILFRIDO CUNALATA CUNALATA  
JORGE SANTIAGO TERÁN VACA

**DECLARAMOS QUE:**

El presente proyecto denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA, DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA PLEGABLE, USANDO SOFTWARE CAD-CAE Y MANUFACTURA ECUATORIANA”** ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Agosto de 2014.

---

**Carlos Wilfrido Cunalata Cunalata**  
**C.C.: 1804563631**

---

**Jorge Santiago Terán Vaca**  
**C.C.: 0401468673**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

Ing. Ernesto Santillán (DIRECTOR).

Ing. William Bonilla (CODIRECTOR).

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA, DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA PLEGABLE, USANDO SOFTWARE CAD-CAE Y MANUFACTURA ECUATORIANA”** realizado por Carlos Wilfrido Cunalata Cunalata y Jorge Santiago Terán Vaca, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que aportará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores: Carlos Wilfrido Cunalata Cunalata y Jorge Santiago Terán Vaca, que lo entreguen al Ing. Juan Castro, en calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Latacunga, Julio del 2014.

---

Ing. Ernesto Santillán

**DIRECTOR**

---

Ing. William Bonilla

**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE****CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ  
AUTORIZACIÓN**

Nosotros, Carlos Wilfrido Cunalata Cunalata y Jorge Santiago Terán Vaca.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA, DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA PLEGABLE, USANDO SOFTWARE CAD-CAE, Y MANUFACTURA ECUATORIANA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Agosto de 2014.

---

**Carlos Wilfrido Cunalata Cunalata**  
**C.C.: 1804563631**

---

**Jorge Santiago Terán Vaca**  
**C.C.: 0401468673**



## DEDICATORIA

El éxito de este proyecto se debió a la colaboración y ayuda de muchas personas, en especial quiero dedicar a Dios por darme la bendición de tener a mis padres Albino y Mariana, que confiaron en mí a pesar de las circunstancias que se han presentado en mi vida, que con su ejemplo de responsabilidad, sacrificio y dedicación se puede alcanzar los sueños y aspiraciones, que al final siempre llega la recompensa y hoy soy una persona de bien.

A mi esposa Rosa Margarita que es una parte muy especial en mi vida, por su amor, comprensión y apoyo incondicional, porque cuando nadie creía en mí tú lo hiciste, por demostrarme que el amor, la fé y la esperanza sobrepasan todas las barreras.

A mi hija Jocelyne Margarita que ha sido el regalo más grande que Dios me ha dado y se ha convertido en mi inspiración y ejemplo de vida.

A mi hermano Paulo Misael, por todo el apoyo brindado en los momentos buenos y malos de mi vida, por ser mi gran amigo incondicional y mis abuelos Tomas Raúl, Luz María y Carmen que con su amor y comprensión siempre estuvieron cuando los necesite.

**WILFRIDO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres: que tanto se han preocupado para que sea ejemplo a seguir dentro de la sociedad, despertando así todo el deseo de superación y forjando con sus sabios consejos alentadores, un espíritu incansable dispuesto a romper todas las barreras difíciles de la vida para alcanzar el éxito.

A mi hija: Samantha Anabel, quien a su corta edad se ha constituido en mi inspiración, dándome la fuerza necesaria para cristalizar éste y otros logros más.

A mi amiga de siempre: Jennyfer Andrea, quien nunca dejó de alentarme, haciendo que nunca me sintiera solo a pesar de la distancia.

A mis abuelitas, que sin su apoyo no estoy seguro si hubiera llegado hasta aquí.

**JORGE**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a Dios y la virgen María por permitirme cada día ir en busca de mis ideales y sueños , por estar cada momento a mi lado haciendo que cumpla un paso más dentro de mis objetivos.

Expreso mi profundo agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga. Por brindarme la oportunidad de convertirme en un profesional competente. Estoy convencido que los conocimientos científicos que aprendí en las aulas serán aprovechados de manera ética en el futuro, fruto de aquello es la elaboración de nuestra tesis para que al final los resultados sean los esperados.

Especial agradecimiento al Ing. Ramiro Santillán y al Ing. William Bonilla, quienes acogieron nuestro pedido de guiar el presente estudio investigativo, irradiando siempre mensajes de objetividad, pero sobre todo buscando que cada día seamos mejores, para el servicio pleno de la sociedad.

A mi compañero Jorge Terán por su amistad sincera, esfuerzo y dedicación que hicieron posible que éste proyecto se haga realidad.

**WILFRIDO**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la posibilidad de continuar con mis estudios y de vencer todas las barreras que se me presentan.

A mis padres por ser el pilar fundamental del éxito en mi vida, ya que con sus sabios consejos he podido alcanzar los sitios del triunfo.

A mi hermano Carlos, porque desde muy pequeño, con su ejemplo y sacrificio hizo que pudiera afrontar pruebas que parecían insuperables, mi compañero de toda la vida.

A mi hija Sammy, por convertirse en mi inspiración y esa fuerza inagotable a cada paso que daba

A mi compañero de tesis y amigo, Wilfrido, que fue la persona con la que nació la idea del Proyecto, además de brindar su apoyo en cada momento.

A los docentes que con amplia experiencia y vastos conocimientos han sabido llegar con su orientación para que el trabajo sea un ejemplo en el estudio y la investigación.

Al Director de Tesis, el Ing. Ramiro Santillán y Codirector el Ingeniero William Bonilla, insignes catedráticos, que con gran paciencia y entrega han cultivado en mí, el interés por la investigación, orientándome con profesionalismo y dedicación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, que nos abrió las puertas de la sabiduría para brindarnos una acertada formación integral y de calidad.

**JORGE**

## RESUMEN

En la siguiente investigación se detalla paso a paso los procesos de diseño y construcción del bastidor y carrocería para un vehículo biplaza, el mismo que será propulsado por energía eléctrica, con el objetivo de disminuir las emisiones contaminantes. Previo al desarrollo del proyecto se realizó un estudio exhaustivo de las posibles opciones y métodos para llevar a cabo el mismo, estableciendo parámetros y criterios de diseño con el fin de seleccionar la mejor alternativa. Para la ejecución del proyecto se ha recurrido a la ayuda de herramientas informáticas tanto para la selección del material como los diferentes análisis. Para el modelado del bastidor y la carrocería se han empleado herramientas CAD, para posteriormente con el uso de software CAE, realizar pruebas tanto estáticas como aerodinámicas, con el fin de dar fiabilidad al diseño del bastidor y la carrocería. Una vez que los resultados obtenidos de los respectivos análisis indican que el diseño es seguro, se procede a realizar la construcción; para llevarlo a cabo, es importante tener en cuenta la seguridad industrial y un proceso ordenado de construcción.

### **Palabras clave**

Ingeniería Automotriz, vehículos biplaza, vehículos eléctricos – diseño y construcción.

## **ABSTRACT**

In the next research step by step process of designing and building the frame and body for a two-seater vehicle, which will be powered by electricity, with the aim of reducing emissions. Prior to the development of the project a comprehensive study of possible options and methods performed to carry out the same, setting parameters and design criteria in order to select the best alternative. For implementation of the project has enlisted the help of software tools for both material selection and the different analysis. The modeling of the frame and body CAD tool has been used for subsequently using CAE software, perform both static and aerodynamic tests in order to provide reliable design of the frame and the body. Once the results of the respective analyzes indicate that the design is safe, it proceeds to construction, to carry out, it is important to consider industrial safety and orderly construction process. Once the design is safe, it proceeds to construction, to carry out, it is important to consider industrial safety and orderly construction process.

### **Key Words**

Automotive engineering, two – seat vehicles, electric vehicles – design and construction.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I .....	1
1.1 Título del proyecto. ....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Planteamiento del problema. ....	2
1.4 Justificación e importancia.....	2
1.5 Objetivos generales y específicos. ....	3
1.5.1 Objetivo general. ....	3
1.5.2 Objetivos específicos. ....	3
CAPÍTULO II .....	4
2.1 El automóvil. ....	4
2.1.1 El bastidor. ....	5
a. Montaje y sujeción de mecanismos al bastidor.....	5
b. Tipos de bastidor.....	5
2.1.2 La carrocería.....	8
a. Función de la carrocería. ....	9
b. La aerodinámica de la carrocería.....	9
c. Flujos de aire .....	12
d. Coeficiente aerodinámico.....	14
e. Ángulo de inclinación del parabrisas.....	17
f. Materiales para la construcción de carrocería. ....	17
2.2 Cargas aplicadas al bastidor.....	20
2.3 Tipos de aceros .....	21
2.4 El acero estructural.....	22
2.4.1 Tipos de aceros estructurales según diversas normas. ....	23
2.4.2 Aceros estructurales según norma SAE-IRA. ....	24
2.4.3 Aceros estructurales según norma ASTM.....	25

2.4.4	Aceros estructurales norma AISI-SAE, UNS. ....	26
2.4.5	Ventajas del acero estructural. ....	26
2.4.6	Propiedades mecánicas del acero estructural. ....	27
2.5	Tipos de perfiles estructurales para bastidores. ....	29
2.6	Soldadura de perfiles estructurales. ....	32
2.6.1	Métodos para soldar perfiles tubulares. ....	33
a.	Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW). ....	33
b.	Soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (GMAW).....	36
c.	Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW ).....	38
2.6.2	Diseño y cálculo del cordón de soldadura y resistencia de diseño. ....	39
a.	Cálculo del cordón de soldadura. ....	39
2.6.3	Tipos de uniones para perfiles estructurales. ....	43
a.	Uniones en prolongación (empalmes).....	43
b.	Uniones soldadas en ángulo recto. ....	43
2.6.4	Secuencias y posiciones para la soldadura de perfiles. ....	47
a.	Punteado de la soldadura. ....	49
2.6.5	Sistemas CAD-CAM-CAE. ....	50
a.	CAD/ Diseño asistido por computador. ....	50
b.	CAM/ Manufactura asistidos por computadora. ....	50
c.	CAE / Ingeniería asistida por computadora. ....	51
d.	Software CAE. ....	53
CAPÍTULO III .....		54
3.1	Requerimientos técnicos para diseño y construcción del bastidor...54	
3.1.1	Diseño concurrente. ....	54
3.1.2	Casa de la calidad.....	54
3.1.3	Mapa morfológico.....	55
3.1.4	Mapa de ponderación. ....	56
3.2	Función principal del vehículo eléctrico. ....	58
3.3	Función principal del sistema estructural. ....	58



3.3.1	Función de los sub-sistemas del vehículo.....	58
a.	Sistema de suspensión. ....	58
b.	Sistema de dirección.....	59
c.	Sistema de frenos. ....	59
d.	Sistema de plegado. ....	59
3.4	El sistema estructural. ....	60
3.5	Determinación de parámetros del diseño del bastidor.....	60
3.6	Análisis de alternativas del sistema estructural. ....	61
3.6.1	Criterios sobre rigidez. ....	62
3.6.2	Seguridad del ocupante. ....	64
3.6.3	Criterios sobre peso y su distribución. ....	66
3.6.4	Criterios sobre el espacio y ergonomía.....	66
3.6.5	Dimensiones del bastidor.....	69
a.	Longitud y ancho.....	70
b.	Altura.....	70
3.7	Selección del material.....	71
CAPÍTULO IV.....		74
4.1	Determinación de las cargas que soporta el bastidor.....	74
4.1.1	Cargas muertas.....	74
4.1.2	Cargas vivas ....	75
4.1.3	Cargas estáticas. ....	75
4.1.4	Cargas dinámicas. ....	76
a.	Cálculo de frenado.....	76
b.	Cargas de giro ....	77
c.	Carga de resistencia al aire frontal.....	79
4.2	Diseño de la geometría del bastidor. ....	82
4.2.1	Diagrama de modelado del bastidor. ....	83
4.2.2	Generación de perfiles y especificaciones del material.....	85
4.3	Estudio estático del bastidor.....	86

4.3.1	Diagrama de estudio estático del bastidor. ....	88
4.3.2	Informe de análisis estático del bastidor. ....	89
4.3.3	Análisis de resultados de la estructura del bastidor. ....	91
a.	Deformación total. ....	91
b.	Esfuerzo máximo. ....	92
c.	Tensión equivalente (Von Mises). ....	93
d.	Deformación direccional. ....	94
e.	Factor de seguridad. ....	95
4.4	Diseño de la carrocería. ....	96
4.4.1	Diagrama de modelado de la carrocería. ....	97
4.4.2	Análisis aerodinámico de la carrocería. ....	98
4.4.3	Diagrama del análisis aerodinámico de la carrocería. ....	100
4.4.4	Proceso de análisis aerodinámico de la carrocería. ....	101
4.4.5	Análisis de resultados de la carrocería. ....	112
CAPÍTULO V. ....		115
5.1	Tecnología de la construcción, costos y mantenimiento. ....	115
5.1.1	Operaciones tecnológicas. ....	117
5.1.2	Diagramas de la construcción de la estructura del bastidor. ....	118
a.	Desarrollo del piso del bastidor. ....	120
b.	Desarrollo de los parantes base. ....	121
c.	Desarrollo de los soportes para la carrocería. ....	121
d.	Desarrollo de la base para el tren motriz. ....	122
e.	Desarrollo de las mesas. ....	123
f.	Desarrollo de la base para el parabrisas. ....	124
g.	Desarrollo de la carrocería. ....	124
5.2	Construcción del bastidor. ....	125
5.2.1	Adquisición del material. ....	125
5.2.2	Marcado e inspección del material. ....	125
5.2.3	Corte de los elementos. ....	127

5.2.4	Inspección de los cortes y desbaste. ....	128
5.2.5	Curvado de elementos. ....	129
5.2.6	Ensamble de las partes de la estructura del bastidor.....	130
a.	Base Principal. ....	130
b.	Parante frontal .....	132
c.	Arcos de seguridad principal y frontal. ....	132
d.	El arco frontal.....	133
e.	Tirantes del arco frontal. ....	134
f.	Tirantes del arco principal. ....	135
g.	Protección de impactos laterales. ....	136
h.	Protección de los pies. ....	137
i.	Bases del tren motriz y basculante. ....	138
5.2.7	Soldadura de bastidor tubular. ....	139
5.2.8	Pintado de la estructura. ....	140
5.3	Construcción de la carrocería. ....	142
5.3.1	Modelación.....	142
5.3.2	Aplicación de cera desmoldante. ....	143
a.	Consideraciones y precauciones. ....	145
5.3.3	Aplicación de la fibra de vidrio para el molde. ....	145
5.3.4	Obtención del molde para la carrocería. ....	146
5.3.5	Obtención de la carrocería.....	147
5.3.6	Pintado de la carrocería. ....	150
5.3.7	Pulido y acabado final. ....	151
5.4	Análisis de costos. ....	151
5.4.1	Costos de materiales (CM). ....	151
5.4.2	Costos de alquiler de maquinarias (CAM).....	153
5.4.3	Costos de mano de obra (CMO). ....	154
5.4.4	Costo total.....	154
CAPÍTULO VI.....		155

6.1	Conclusiones y recomendaciones. ....	155
6.1.1	Conclusiones. ....	155
6.1.2	Recomendaciones. ....	156
	Bibliografía.....	157
	Anexos.....	162

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

Gráfica 1 Piezas que conforman un vehículo. ....	4
Gráfica 2 Bastidor en X. ....	6
Gráfica 3 Bastidor longitudinal. ....	7
Gráfica 4 Bastidor perimétrico. ....	7
Gráfica 5 Bastidor tubular. ....	8
Gráfica 6 Ejemplo de carrocería. ....	9
Gráfica 7 Diferentes formas aerodinámicas y su valor de Cx. ....	10
Gráfica 8 Resistencia al avance de tres formas aerodinámicas diferentes. ....	11
Gráfica 9 Flujo exterior de aire. ....	12
Gráfica 10 Flujos de aire laminar y turbulento. ....	13
Gráfica 11 Diferencias entre flujos de aire laminar y turbulento. ....	14
Gráfica 12 Incidencia de la carrocería en el flujo de aire. ....	16
Gráfica 13 Influencia del ángulo de inclinación del parabrisas y Cx. ....	17
Gráfica 14 Materiales empleados en construcción de carrocería. ....	17
Gráfica 15 Fibra de vidrio. ....	19
Gráfica 16 Soldadura SMAW. ....	34
Gráfica 17 Soldadora eléctrica. ....	35
Gráfica 18 Diagrama suelda GMAW. ....	38
Gráfica 19 Soldadora FCAW. ....	39
Gráfica 20 Dimensión efectiva de garganta menor o igual a 3/8". ....	40
Gráfica 21 Dimensión efectiva de garganta mayor que 3/8". ....	40
Gráfica 22 Tipos de empalmes. ....	43

Gráfica 23 Nodos de ángulo recto. ....	44
Gráfica 24 Diferentes tipos de uniones soldadas planas. ....	45
Gráfica 25 Soldaduras en ángulos entre perfiles tubulares circulares. ....	46
Gráfica 26 Soldadura circular de 360°. ....	47
Gráfica 27 Soldadura vertical ascendente de 180°. ....	48
Gráfica 28 Soldadura vertical ascendente ....	48
Gráfica 29 Soldadura horizontal.....	48
Gráfica 30 Punteado de soldadura. ....	49
Gráfica 31 Modelo hecho en inventor. ....	50
Gráfica 32 CAD/CAM.....	51
Gráfica 33 Modelo analizado en software CAE.....	52
Gráfica 34 Análisis aerodinámico en ANSYS ....	53
Gráfica 35 Casa de la calidad. ....	55
Gráfica 36 Sub – Sistemas del vehículo eléctrico. ....	57
Gráfica 37 Sistema estructural.....	60
Gráfica 38 Rigidez a flexión ....	63
Gráfica 39 Rigidez torsional.....	64
Gráfica 40 Seguridad del ocupante.....	65
Gráfica 41 Cinturón de seguridad de cuatro arneses.....	65
Gráfica 42 Disposición ergonómica del cuerpo humano.....	66
Gráfica 43 Disposición en el asiento.....	68
Gráfica 44 Apoya cabezas.....	69
Gráfica 45 Esquema del ancho y longitud bastidor.....	70

Gráfica 46 Esquema altura .....	71
Gráfica 47 Propiedades acero AISI 1020.....	72
Gráfica 48 Vista frontal de la carrocería.....	79
Gráfica 49 Modelado final del bastidor.....	84
Gráfica 50 Generación de los perfiles estructurales del bastidor.....	86
Gráfica 51 Asignación de cargas para el análisis estático de la estructura. ....	89
Gráfica 52 Deformación total. ....	92
Gráfica 53 Esfuerzo máximo.....	93
Gráfica 54 Tensión equivalente (Von Mises). ....	94
Gráfica 55 Deformación direccional en X.....	95
Gráfica 56 Factor de seguridad.....	96
Gráfica 57 Carrocería finalizada CAD.....	98
Gráfica 58 Análisis aerodinámico.....	99
Gráfica 59 Selección de Fluid Flow.....	101
Gráfica 60 Importación de geometría.....	102
Gráfica 61 Creación de túnel de viento.....	102
Gráfica 62 Selección de medidas del túnel.....	103
Gráfica 63 Mallado.....	104
Gráfica 64 Mallado carrocería.....	104
Gráfica 65 Selección de dominios.....	105
Gráfica 66 Selección del material. ....	105
Gráfica 67 Dominio del túnel de viento. ....	106
Gráfica 68 Selección de entrada de viento. ....	107

Gráfica 69 Selección de salida de viento. ....	107
Gráfica 70 Finalización del ingreso de variantes.....	108
Gráfica 71 Proceso de análisis aerodinámico.....	109
Gráfica 72 Selección de la herramienta Streamline.....	110
Gráfica 73 Recorrido del aire. ....	110
Gráfica 74 Movimiento de partículas de aire.....	111
Gráfica 75 Visualización de la presión que ejerce el aire.....	111
Gráfica 76 Análisis de la presión del aire.....	112
Gráfica 77 Rendering.....	113
Gráfica 78 Análisis de la velocidad máxima y mínima del aire.....	114
Gráfica 79 Marcado e inspección del material. ....	126
Gráfica 80 Medición. ....	126
Gráfica 81 Corte con sierra de arco. ....	127
Gráfica 82 Corte con amoladora. ....	128
Gráfica 83 Desbastado con amoladora.....	128
Gráfica 84 Uso de esmeril. ....	129
Gráfica 85 Dobladora de tubos manual. ....	129
Gráfica 86 Comprobación de espacios para los asientos. ....	130
Gráfica 87 Eliminación de rebabas. ....	131
Gráfica 88 Preparación del material.....	131
Gráfica 89 Parante frontal.....	132
Gráfica 90 Arcos de seguridad.....	133
Gráfica 89 Arco frontal .....	133



Gráfica 92 Tirantes del arco frontal.....	134
Gráfica 93 Colocación de refuerzos.....	135
Gráfica 94 Tirantes traseros.....	135
Gráfica 95 Protección lateral.....	136
Gráfica 96 Protección de los pies. ....	137
Gráfica 97 Bases para el tren motriz.....	138
Gráfica 98 Proceso de suelda del bastidor. ....	140
Gráfica 99 Aplicación de pintura. ....	141
Gráfica 100 Acabado final de la estructura ....	141
Gráfica 101 Modelación. ....	142
Gráfica 102 Colocación de cinta. ....	143
Gráfica 103 Cera desmoldante. ....	143
Gráfica 104 Corte de fibra.....	144
Gráfica 105 Preparación de la mezcla. ....	144
Gráfica 106 Proceso de colocación de la fibra de vidrio. ....	145
Gráfica 107 Molde de carrocería.....	146
Gráfica 108 Perfeccionamiento de forma.....	147
Gráfica 109 Lijado.....	147
Gráfica 110 Colocación de cera desmoldante. ....	148
Gráfica 111 Base de carrocería. ....	148
Gráfica 112 Detallado de las curvas aerodinámicas.....	149
Gráfica 113 Masillado. ....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aceros estructurales SAE. ....	24
Tabla 2 Aceros estructurales ASTM. ....	25
Tabla 3 Aceros estructurales norma AISI-SAE. ....	26
Tabla 4 Propiedades mecánicas acero estructural. ....	28
Tabla 5 Perfiles de sección redonda. ....	30
Tabla 6 Perfiles de sección cuadrado. ....	31
Tabla 7 Perfiles de sección rectangular. ....	32
Tabla 8 Tipos de electrodos y aplicaciones específicas. ....	36
Tabla 9 Valores límite de garganta de una soldadura en ángulo. ....	41
Tabla 10 Resistencia de diseño de soldadura. ....	42
Tabla 11 Mapa morfológico tipo de vehículos. ....	56
Tabla 12 Mapa de ponderación tipo de vehículos. ....	56
Tabla 13 Parámetros previos al diseño. ....	61
Tabla 14 Mapa morfológico tipos de bastidores. ....	61
Tabla 15 Mapa de ponderación tipos de bastidores. ....	62
Tabla 16 Medidas del hombre promedio. ....	67
Tabla 17 Cargas muertas del bastidor. ....	75
Tabla 18 Cargas vivas en el bastidor. ....	75
Tabla 19 Radio de curvatura vs velocidad del vehículo. ....	78
Tabla 20 Cargas dinámicas en el bastidor. ....	81
Tabla 21 Cargas aplicadas en el bastidor. ....	87
Tabla 22 Membrete del análisis. ....	89
Tabla 23 Informe del factor de seguridad. ....	90
Tabla 24 Límite de compresión elástico. ....	90
Tabla 25 Límite de tensión elástico. ....	90
Tabla 26 Resistencia a la tracción. ....	90
Tabla 27 Elasticidad isotrópica. ....	90
Tabla 28 Deformación total. ....	92

Tabla 29 Esfuerzo máximo. ....	93
Tabla 30 Tensión equivalente (Von Mises).....	94
Tabla 31 Deformación direccional.....	94
Tabla 32 Factor de seguridad. ....	95
Tabla 33 Análisis presión.....	112
Tabla 34 Análisis velocidad aire.....	113
Tabla 35 Máquinas y equipos utilizados. ....	115
Tabla 36 Herramientas utilizadas.....	117
Tabla 37 Operaciones tecnológicas realizadas. ....	118
Tabla 38 Costos de materiales. ....	151
Tabla 39 Alquiler de maquinaria. ....	153
Tabla 40 Costo mano de obra.....	154

## CAPÍTULO I

### 1.1 Título del proyecto.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA, DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA PLEGABLE, USANDO SOFTWARE CAD-CAE Y MANUFACTURA ECUATORIANA.

### 1.2 Antecedentes.

En el Ecuador a nivel de sus ciudades, se ha detectado el incremento del parque automotor en todas sus ramas, sean éstas, transporte público o privado, lo que ha generado que en ciertas horas se produzca un caos vehicular.

Además, tanto la presencia vehicular como la de industrias, ha generado mayor contaminación del medio ambiente, acrecentándose en las ciudades donde el índice de población es alto, por lo que concomitantemente a esto, ha acarreado otros problemas de índole socio-cultural.

De igual manera, la tecnología automotriz ha generado un avance impresionante en base a las exigencias del medio, teniendo que satisfacerlas en forma óptima, obligando a la ingeniería automotriz buscar alternativas que se ajusten a la realidad del medio, aplicando nuevos mecanismos tecnológicos a nivel eléctrico, para que en lo posterior se pueda reemplazar los mecanismos de combustión existentes, más aún cuando se prevé que en un tiempo mediato los derivados del petróleo comenzaran a escasear, propendiendo que en el futuro existan vehículos que contribuyan a preservar de mejor manera el medio ambiente, disminuyan el congestionamiento vehicular y se minimice los gastos económicos de mantenimiento que se producen en la actualidad.

### **1.3 Planteamiento del problema.**

En el Ecuador la mayoría de ciudades presentan un alto índice de contaminación y caos vehicular ocasionado por diferentes causas como: incremento del parque automotor; alta inconsciencia ciudadana, al conducir vehículos en mal estado y que emanan grandes cantidades de contaminantes, debido a la quema de combustibles; vehículos con necesidad de reparación y que prestan sus servicios sin que se solucionen estas anomalías. Personas que por desconocimiento o por desinterés, no le dan el debido mantenimiento a los vehículos; pocas oportunidades para utilizar energías alternativas; resistencia al cambio por parte de la comunidad; transporte público con unidades adquiridas en otras provincias y que en las mismas ya han sido desechadas; lo que ha originado efectos como: incremento de enfermedades cardiovasculares y pulmonares; deterioro del medio ambiente; deterioro de la imagen de las ciudades; enfermedades psicológicas de los pobladores que habitan en los sitios de congestionamiento o que también tienen que transitar por los mismos; esto unido a la incertidumbre por la posible escasez de combustible, al ser el petróleo un recurso no renovable, a políticas de eliminación del subsidio a los combustibles y el incremento en el valor de unidades que tienen energía a través de la combustión, son factores que afectan a la calidad de vida de los conductores y transeúntes en ciudades que tienen problemas en el transporte por falta de espacio para transitar o estacionar.

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

El campo automotriz del Ecuador, necesita de un proyecto urgente, que contribuya con la preservación del medio ambiente, que se prepare de los inminentes perjuicios a tener en el futuro, sean estos por la contaminación, caos vehicular, entre otros.

Es menester que quienes adquieran un vehículo en el futuro, tengan el firme

convencimiento que podrán conducirlo con facilidad, sin propender el daño al ambiente, mejorando inclusive el estado anímico de sus ocupantes.

Se justifica también que sus conductores podrán estacionar de una manera fácil en los sitios de conflicto vehicular que cada vez es mayor por el excesivo parque automotor y el escaso espacio para parqueo.

Al existir un alto índice de contaminación en el país, sumado esto otros problemas secundarios y por lo planteado anteriormente, se justifica la elaboración del presente proyecto con el que se solucionarían diferentes problemas existentes en la actualidad.

## **1.5 Objetivos generales y específicos.**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Diseñar y construir el bastidor y carrocería, de un vehículo eléctrico biplaza plegable, usando software CAD-CAE y manufactura ecuatoriana.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

- Establecer los fundamentos teóricos de los temas relacionados a los vehículos eléctricos.
- Diseñar los elementos constitutivos bastidor y carrocería mediante el uso de software CAD-CAE.
- Construir el bastidor y la carrocería.
- Implementar el bastidor y carrocería y accesorios al vehículo eléctrico plegable.

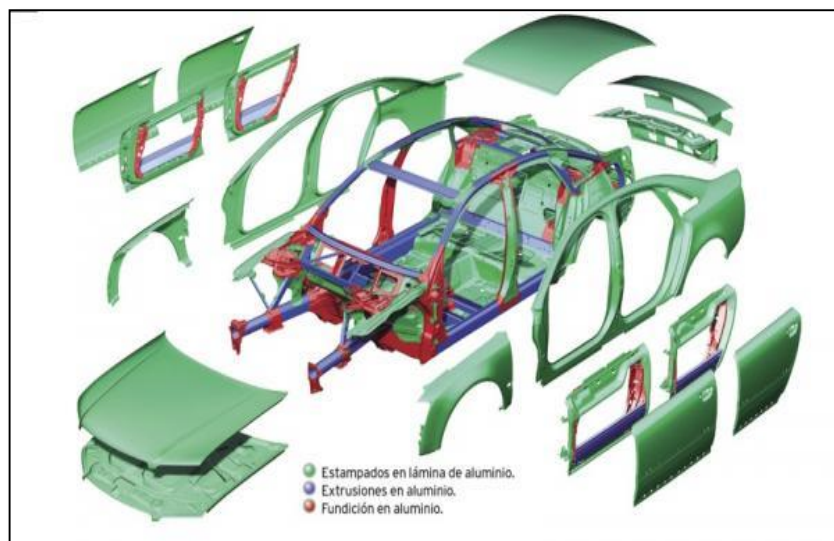
## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 El automóvil.

El automóvil está constituido por un gran número de mecanismos, cada uno de los cuales desempeña una función concreta, en estrecha relación con los demás, para conseguir un adecuado funcionamiento del vehículo en cualquiera de las condiciones de utilización que se le exijan. En la actualidad existe una variedad de modelos, que en lo esencial de la estructura utilizan elementos similares.

En la gráfica 1 se muestra los dos grandes conjuntos de piezas que conforman un vehículo, el bastidor y carrocería.



Gráfica 1 Piezas que conforman un vehículo.  
Fuente: (Lara, 2013)

### 2.1.1 El 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.” (Alonso, 2009, pág. 4)

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.

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 constructivas de los bastidores y el uso de nuevos materiales.

#### a. Montaje y sujeción de mecanismos al bastidor.

Al armazón metálico se fija y relaciona entre sí, los distintos órganos y grupos mecánicos, entre ellos se puede mencionar.

- Motor.
- Transmisión.
- Suspensión.
- Carrocería.

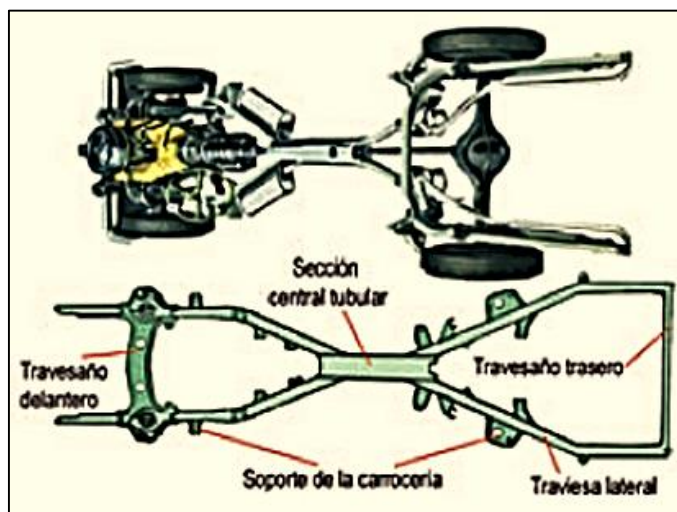
#### b. Tipos de bastidor.

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

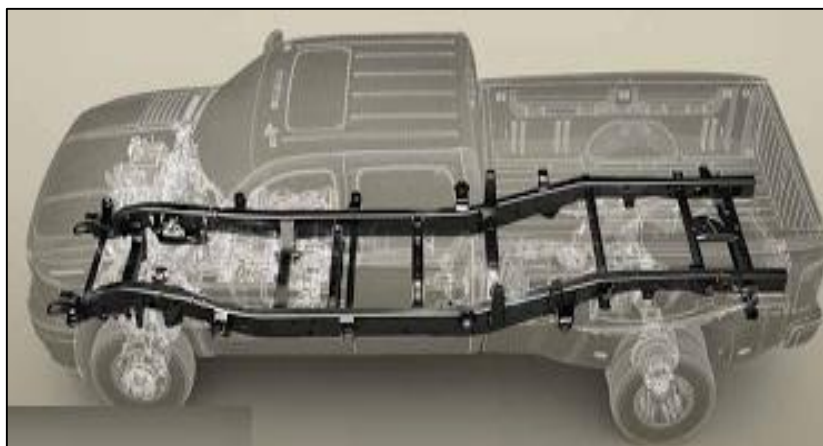


del mismo es el bastidor de tubo central, que cuenta con una viga longitudinal en la sección central, con perfil cuadrado o redondo y que tiene en sus elementos sendos entramados para alojar los elementos mecánicos del vehículo.” (Gómez, 2012, pág. 61)



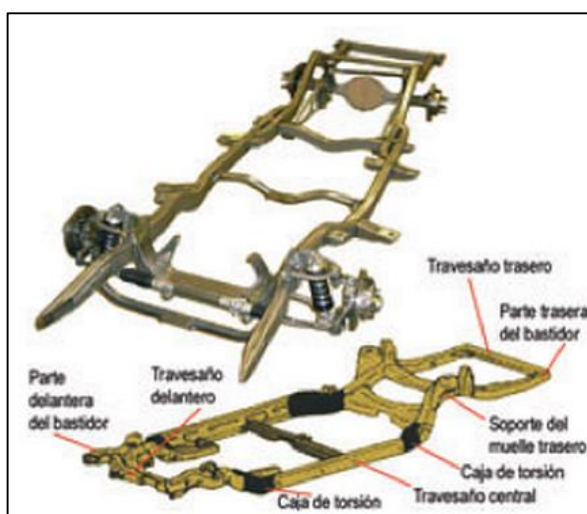
Gráfica 2 Bastidor en X.  
Fuente: (Alonso, 2011, pág. 61)

**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.



Gráfica 3 Bastidor longitudinal.  
Fuente: (Alonso, 2011, pág. 61)

**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. 61)



Gráfica 4 Bastidor perimétrico.  
Fuente: (Gómez, 2012, pág. 62)

**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.



Gráfica 5 Bastidor tubular.  
Fuente: (Gutiérrez, 2013)

### 2.1.2 La 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, pág. 1)



Gráfica 6 Ejemplo de carrocería.  
Fuente: (Alós, 2013)

#### **a. Función de la carrocería.**

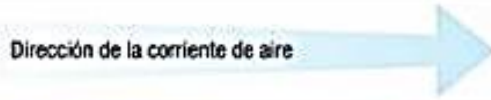





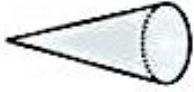



Se puede concebir a la carrocería como una caja especial destinada para albergar y transportar personas, durante la circulación del automóvil. Se consideran tres funciones principales que cumple la carrocería como tal.

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

#### **b. 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.

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

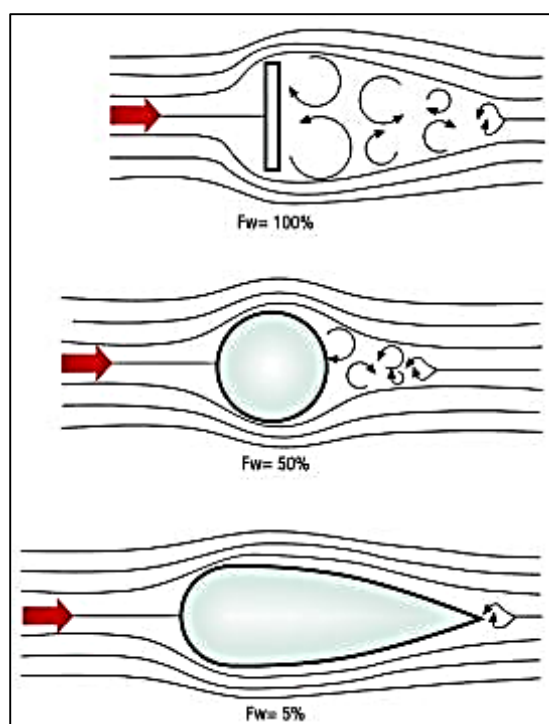
Formas básicas y su valor Cx		
Dirección de la corriente de aire 		Cx
Paracaídas		1,35
Placa plana y cuadrada		1,17
Cubo		1,0
Cono (90°)		0,51
Semiesfera		0,41
Cono (60°)		0,34
Esfera		0,1
Perfil de ala de avión		0,05- 0,1
Automóviles modernos		0,29- 0,33

Gráfica 7 Diferentes formas aerodinámicas y su valor de Cx.  
Fuente: (Alonso, 2011, pág. 21)

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).

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.

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



Gráfica 8 Resistencia al avance de tres formas aerodinámicas diferentes.

Fuente: (Alonso, 2011, pág. 21)

### c. Flujos de aire

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.



Gráfica 9 Flujo exterior de aire.  
Fuente: (Alonso, 2011, pág. 22)

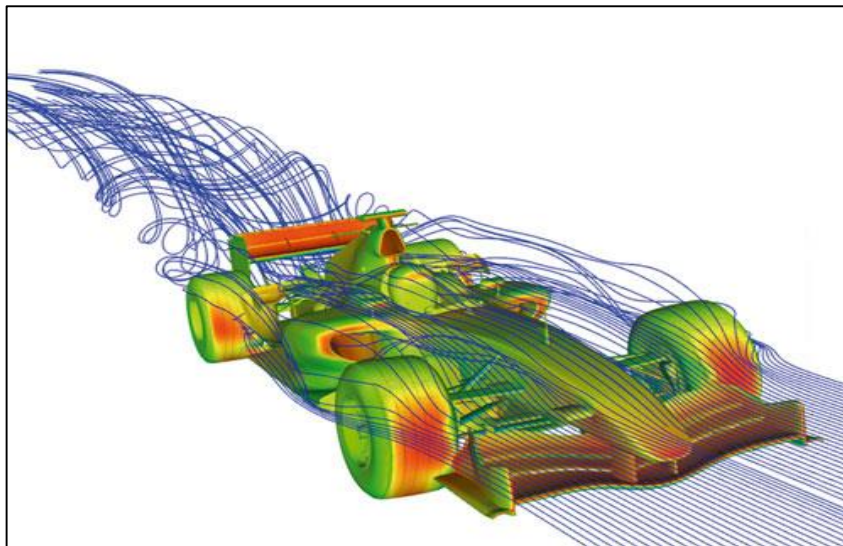


Los factores que más decisivamente influyen en la resistencia aerodinámica total al avance del vehículo son: el tamaño y la forma de la carrocería, la velocidad relativa del vehículo respecto al aire y la densidad del aire.

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:

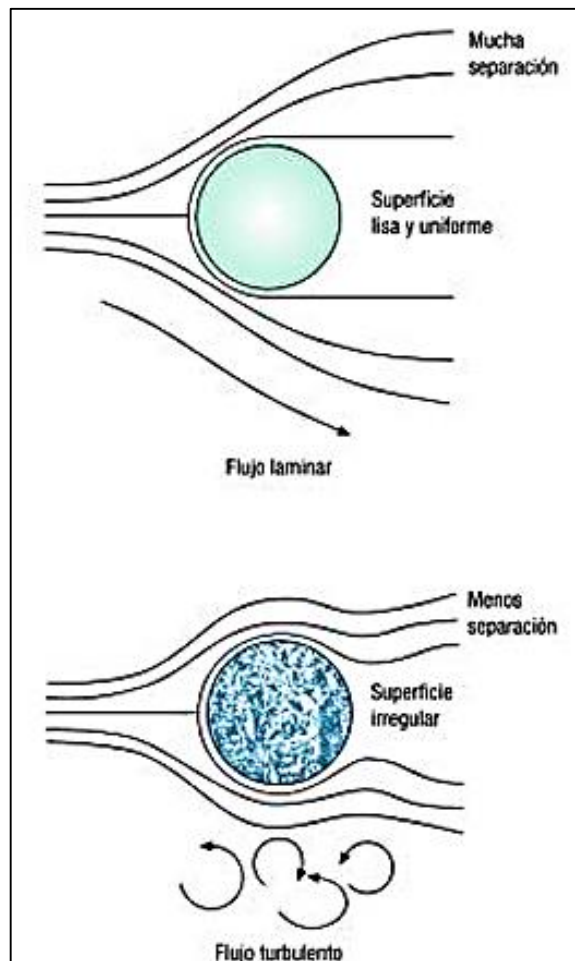
**Uniformemente.** Cada partícula de aire se desplaza, con respecto a la carrocería, en la misma dirección y velocidad que las que le rodean. Este desplazamiento tan fluido se conoce como fluido laminar. Cuanto mayor sea el flujo laminar, menor será la resistencia aerodinámica.

**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.



Gráfica 10 Flujos de aire laminar y turbulento.  
Fuente: (Tapia, 2013)





Gráfica 11 Diferencias entre flujos de aire laminar y turbulento.  
Fuente: (Alonso, 2011, pág. 23)

#### d. 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. Estos coeficientes son:

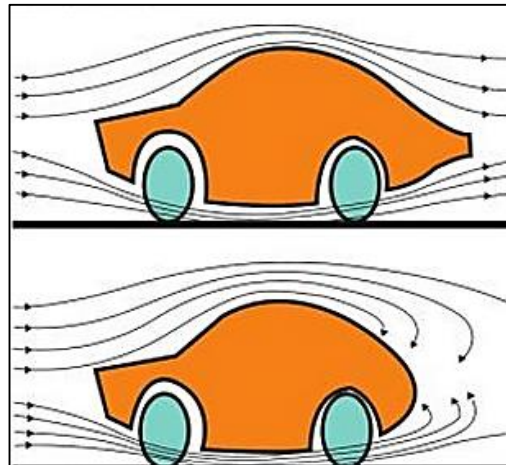
**Cx.** “Muchas veces se ha escuchado términos como el de aerodinámica o coeficiente aerodinámico en referencia a un automóvil, pero ¿para qué nos

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.

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)

Un cuerpo que se desplaza ha de invertir una cierta cantidad de potencia en atravesar la masa de aire que lo rodea. El dato de la potencia invertida estará en relación directa con el volumen del cuerpo, de tal manera que cuando más aerodinámica sea su forma mejor será su capacidad de penetración aerodinámica y, por tanto, menor será la potencia invertida en vencer la resistencia del desplazamiento. En este contexto aparece la sigla técnica  $C_x$  (coeficiente de penetración aerodinámica), que da idea de la mayor o menor resistencia que ofrece al avance una forma determinada, cuanto menor es la cifra tanto mayor es la capacidad de penetración aerodinámica de la forma.

En la obtención de un buen  $C_x$  intervienen diversos factores, no solo la forma más o menos afilada del frontal, sino también que el flujo de aire que roza el contorno del vehículo sea homogéneo y con poco grado de rozamiento. Por ello, la aerodinámica como tal tiene un papel cada vez más importante.



Gráfica 12 Incidencia de la carrocería en el flujo de aire.  
Fuente: (Gómez, 2012, pág. 39)

**Cx A.** Para expresar la resistencia aerodinámica total de un vehículo no es suficiente el Cx, 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 Cx, está relacionado directamente con la superficie de ataque del vehículo(A), medida en m<sup>2</sup>. de tal manera que solo mediante el producto de Cx.A, se puede tener una referencia clara de la resistencia al aire que ofrece un vehículo.

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. 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

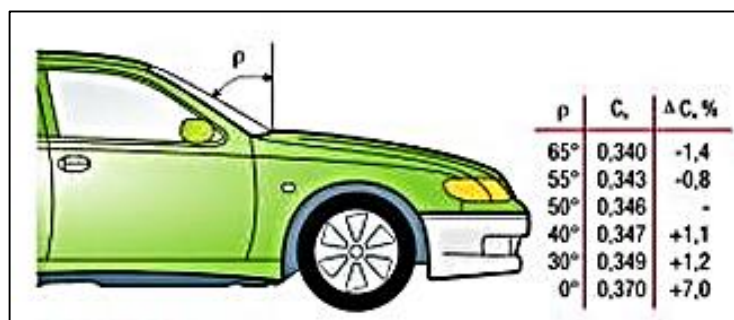
A: Superficie de ataque (m<sup>2</sup>).

$\rho$ : Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>).

Vp: Velocidad del vehículo (m/s).

### e. Ángulo de inclinación del parabrisas.

La inclinación del parabrisas es muy importante tener en cuenta ya que si es muy elevado, la corriente de aire puede provocar turbulencia como consecuencia de la interrupción del flujo de aire. En la imagen se puede observar los diferentes ángulos de inclinación y cómo éstos repercuten en el coeficiente aerodinámico ( $C_x$ ).



Gráfica 13 Influencia del ángulo de inclinación del parabrisas en el coeficiente  $C_x$ .

Fuente: (Gómez, 2012, pág. 37)

### f. Materiales para la construcción de carrocería.

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.



Gráfica 14 Materiales empleados en construcción de carrocería.

Fuente: (López, 2013, pág. 13)

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



Gráfica 15 Fibra de vidrio.

Fuente: (Urrutia, 2012)

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.

## 2.2 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, 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  $\text{kN/m}^2$ .

**Carga viva.** Es la carga externa movable 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  $\text{kN/m}^2$ .

**Carga de frenado (F).** Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo. Se asume una desaceleración mayor o igual a  $4 \text{ m/s}^2$ .

**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.

**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. Se utilizará la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

p.- Densidad del aire, en (kg/m<sup>3</sup>)

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 (m<sup>2</sup>)

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

### 2.3 Tipos de aceros

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.

**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.

**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)

#### **2.4 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.

#### **2.4.1 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.

## 2.4.2 Aceros estructurales según norma SAE-IRA.

Tabla 1 Aceros Estructurales SAE.

IRAM- SAE	Características	Aplicaciones	Característica		
			Sr MPa	S	Dureza HB
IRAM/S AE	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
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. Engranajes, ejes traseros, piezas de dirección, pernos de seguridad. Matrices para plásticos y metales no ferrosos	820	58	24
			1000	67	31
			1050	66	32
			715	45	20
					20
			1010	76	31
SAE 4317	Acero al Cr-Ni-Mo, de mediana templabilidad y excelente tenacidad	Piezas de responsabilidad, de grandes y medianas dimensiones. Pernos para cadenas, engranajes y piñones de mando	930	73	30
				0	2
			765	46	22
			755	46	22
			550		15
			550	38	15
SAE 5120	Acero al Cr con buena resistencia y tenacidad y baja templabilidad	Piezas de pequeñas y medianas dimensiones, confeccionadas por extrusión o por mecanizado. Pernos de	1010	71	30
				0	2
			570	36	16
			570	39	16
			480	29	13
IRAM 5121	Acero al Mn y Cr. Equivalente al acero DIN 20MnCr5. Buenas propiedades en estado	Engranajes. Coronas y piñones del diferencial. Ejes, árboles. Otras piezas de tamaño mediano	490	29	14
			880	71	28
				0	5
			680		20
IRAM/S AE4815	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	680	40	20
			520	31	14
			650	44	21
			670	45	21
			600	40	17
	1080	86	33		
		0	1		

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

### 2.4.3 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 A501	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
Grado II	30	205	55-80	380-550
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)

#### 2.4.4 Aceros estructurales norma AISI-SAE, UNS.

Tabla 3 Aceros estructurales norma AISI-SAE.

Designación		TIPOS DE ACEROS
AIS – SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aceros al Carbono comunes
11XX	G11XXX	Aceros maquinables, con alto S
12XX	G12XXX	Aceros maquinables, con alto Py 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 0,9% Cr y 0,2 a 0,3% Mo
46XX	G46XXX	Aceros Ni-Mo, con 0,7 a 2% Ni y 0,15 a 0,3% Mo
47XX	G47XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 1,05% 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 1,45% Cr
61XX	G61XXX	Aceros Cr-V, con 0,6 a 0,95% Cr y 0,1 a 0,15% V mínimo
86XX	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	G81B1	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)

#### 2.4.5 Ventajas del acero estructural.

**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.

#### 2.4.6 Propiedades mecánicas del acero estructural.

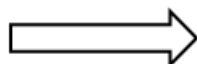
Es importante conocer las propiedades mecánicas del material, ya que éstas indican el punto funcional o no, del material cuando éste se encuentra sujeto a cargas, cambios de temperatura y otras condiciones que pueden deformar el

material; en las siguientes tablas se muestra las propiedades mecánicas de los diferentes aceros estructurales existentes.

Tabla 4 Propiedades mecánicas acero estructural.

Designación ASTM	F <sub>y</sub> Mínimo esfuerzo a la fluencia Kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>u</sub> Esfuerzo último Kg/cm <sup>2</sup>	Máximo espesor para placas (mm)	Tipo de acero
A36	2249.824 2531.05	4077.81-5624.56 4077.81-5624.56	4077.81- 5624.56 4077.81- 5624.56	C
A53 Grado B	2460.74	4218.42		C
A242	2952.89 3234.12 3515.35	4429.34 4710.57 4921.49	De 40 hasta 200 De 20 hasta 40 Hasta 20	HS-LA
A441	Descontinuado en 1989; Reemplazado por A572			HS-LA
A500 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	7030.70-9139.91 7030.70-9139.91	De 65 hasta 150 Hasta 65	A
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		

Continúa





Designación ASTM	F <sub>y</sub> Mínimo esfuerzo a la fluencia Kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>u</sub> Esfuerzo último Kg/cm <sup>2</sup>	Máximo espesor para placas (mm)	Tipo de acero
A572 Grado 42	2952.89	4218.42	Hasta 150	HS-LA
Grado 50	3515.35	4569.95	Hasta 100	
Grado 60	4218.42	5273.02	Hasta 32	
Grado 65	4569.95	5624.56	Hasta 32	
A588	2952.89	4429.34	De 125 hasta	HS-LA
	3234.12	4710.57	200 De 100	
	3515.35	4921.49	hasta 125	
A606	3163.81	4569.95		HS-LA
	3515.35	4921.49		
A607 Grado 45	3163.81	4218.42		HS-LA
Grado 50	3515.35	4569.95		
Grado55	3866.88	4921.49		
Grado60	4218.42	5273.02		
Grado65	4569.95	5624.56		
Grado 70	4921.49	5976.09		
A611 Grado C	2320.13	3374.74		C
Grado D	2812.28	3655.96		
Grado E	5624.56	5765.17		
A618 Grado I,II	3515.35	4921.49	Hasta 20	HS-LA
Grado III	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
Grado50w	3515.35	4921.49	Hasta 100	H-S,LA
Grado100 y 100w	6327.63	7030.70-9139.91	De 64 hasta 102	A
Grado100 y 100w	7030.70	7733.77-9139.91	Hasta 64	A

Fuente: (tesis.uson.mx, 2010)

## 2.5 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.

### 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. En las siguientes tablas se presenta las especificaciones técnicas, dimensiones y pesos del tubo de sección redondo como rectangular y cuadrado.

Tabla 5 Perfiles de sección redonda.

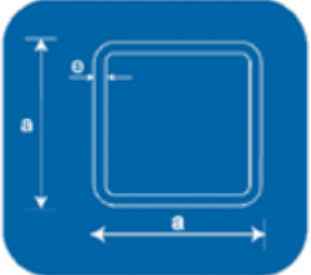
Denominación	Diámetro exterior mm	Espesor e mm	Peso	
			P kg/m	P kg/6m
5/8	15,88	1,5	0,55	3,28
3/4	19,05	1,5	0,67	3,99
7/8	22,22	1,5	0,79	4,73
1	25,4	1,5	0,9	5,37
		2	1,17	7,02
11/4	31,75	1,5	1,13	6,78
		2	1,48	8,9
11/2	38,1	1,5	1,37	8,2
		2	1,8	10,8
13/4	44,45	1,5	1,6	9,57
		2	2,13	12,8
17/8	47,63	1,5	1,72	10,3
		2	2,27	13,6
2	50,8	1,5	1,84	11
		2	2,43	14,6
		3	3,45	20,7
21/4	57,15	1,5	2,08	12,5
		2	2,79	16,7
23/8	60,33	1,5	2,24	13,4
		2	2,83	17
		3	4,38	26,3
21/2	63,5	1,5	2,34	14
		2	3,13	18,8
		3	4,62	27,7
3	76,2	2	3,68	22,4
		3	5,26	33,4
		4	7,35	44,1

Fuente: (Novacero, 2014)

### Perfil de sección rectangular y cuadrado.

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

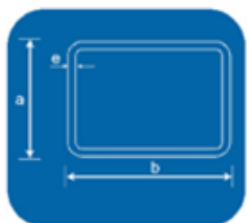
Tabla 6 Perfiles de sección cuadrado.

	Denominación		Espesor		Peso	
	a		e		P	P
	mm		mm		kg/m	kg/6m
	3/4	20	1,5		0,88	5,26
	1	25	1,5		1,13	6,78
			2		1,48	8,9
	11/4	30	1,5		1,37	8,2
			2		1,8	10,8
	11/2	40	1,5		1,72	10,3
			2		2,27	13,6
			3		3,22	19,3
	2	50	1,5		2,32	13,9
			2		3,13	18,8
			3		4,62	27,7
	23/8	60	2		3,74	22,4
			3		5,56	33,4
	3	75	2		4,65	27,9
			3		6,88	41,3
			4		9,11	54,6
	4	100	2		6,22	37,3
			3		9,26	55,5
			4		12,28	73,7

Fuente: (Novacero, 2014)

Tabla 7 Perfiles de sección rectangular.

Denominación	Dimensiones			Peso	
	a	b	e	P	P
	mm	mm	mm	kg/m	kg/6m
3/4 x 11/2	20	40	1,5	1,37	8,2
			2	1,8	10,79
1 x 2	25	50	1,5	1,72	10,32
			2	2,27	13,62
11/2 x 23/8	40	60	2	3,13	18,75
			3	4,62	27,69
11/4 x 23/4	30	70	2	3,13	18,75
			3	4,62	27,69
11/2 x 31/8	40	80	2	3,68	22,05
			3	5,26	31,55
13/4 x 3	45	75	2	3,74	22,42
			3	5,56	33,36
			4	7,35	44,09
2 x 4	50	100	2	4,63	27,79
			3	6,88	41,26
			4	9,11	54,64



Fuente: (Novacero, 2014)

## 2.6 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.

### 2.6.1 Métodos para soldar perfiles tubulares.

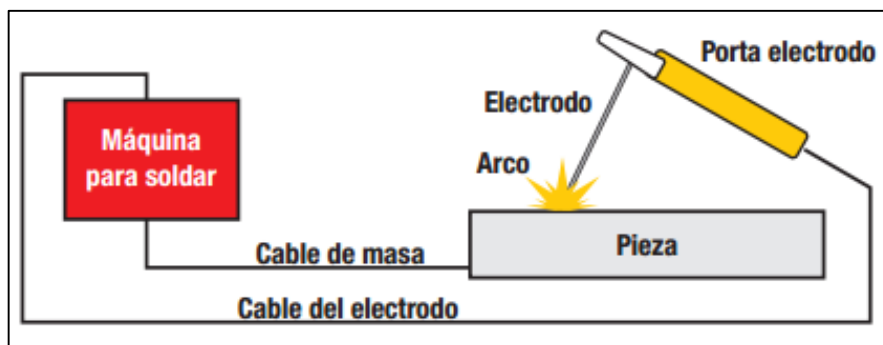
Para la soldadura de nudos de perfiles tubulares, la soldadura por arco se utiliza de manera predominante. Existen subgrupos de soldadura por fusión para la unión de los perfiles tubulares, entre ellos podemos mencionar.

#### 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, pág. 2)

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.

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.



Gráfica 16 Soldadura SMAW.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 11)

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. 11)



Gráfica 17 Soldadora eléctrica.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 11)

En la siguiente tabla se muestra los electrodos más utilizados, y las aplicaciones específicas.

Tabla 8 Tipos de electrodos y aplicaciones específicas.

Tipo Hobart	No AWS y ASTM	Aplicación	Posición para soldar	Polaridad corriente	Gama de medidas
	E-6010	Para soldaduras para probar con rayos X, de tubos, estructurales y generales. Penetración profunda, escoria ligera y deposición promedio.	Todas las posiciones	CC inversa	3/32 - 1/4 pulg.
611 335A	E-6011	Básicamente igual que el E6010; también se usa con ca. Cuando se usa con cc de polaridad directa se logra un arco intenso para trabajo en lámina y de mucha velocidad.	Todas las posiciones	CA; CC directa o inversa	3/32 - 1/4 pulg.
12 212A 12A	E-6012	Para excelente calidad en uso general, en soldadura de filete y para puentear aberturas en piezas de ajuste difícil. Penetración mediana, escoria semigruesa y buena deposición.	Todas las posiciones	CA; CC polaridad directa	3/32 - 5/16 pulg.
413 447A 13A	E-6013	Para trabajo general de alta calidad y pocas salpicaduras. El tipo de uso más fácil por operadores inexpertos. Penetración suave. Escoria gruesa, buena deposición. El Hobart No 13A es para lámina.	Todas las posiciones hasta 3/16"	CA; CC polaridad directa o inversa	1/16 - 5/16 pulg.
111 111 HT	E-6020 E-7020	Para filete horizontal a alta velocidad y soldaduras en posición plana. Calidad para rayos X, sólo en placa gruesa. Penetración profunda, escoria gruesa, excelente deposición. Lo sustituyen gradualmente el E6024 y el E6027.	Filete horizontal plano	CA; CC polaridad directa	1/8 - 5/16 pulg.
14A	E-6014 E-7014	Para fabricación general donde intervienen deposición rápida y soldadura en posición incómoda. Mínima salpicadura, penetración suave y escoria semigruesa. Se puede usar técnica de arrastre.	Todas las posiciones hasta 3/16"	CA; CC polaridad directa o inversa	3/32 - 5/16 pulg.
24 24A	E-6024 E-7024	Para soldadura de filete en acero dulce, generalmente placa gruesa. Excelente deposición, buena calidad, penetración suave, escoria gruesa. Excelente aspecto de la soldadura. Se puede usar técnica de arrastre.	Filete horizontal plano	CA; CC polaridad directa o inversa	3/32 - 5/16 pulg.
27	E-6027 E-7027	Otro electrodo con recubrimiento grueso de hierro en polvo para deposición rápida en especial en soldaduras de filete ranurado o filetes horizontales planos o cóncavos. Este electrodo tiene excelente ductilidad y ha sustituido al E6020 en muchas aplicaciones. Se puede usar técnica de arrastre.	Filete horizontal plano	CA; CC polaridad directa o inversa	1/8 - 5/16 pulg.
Sulkote	E-4510 E-4520	Este electrodo con polvo ligero es excelente en soldaduras que se van a galvanizar o pintar. No tiene resistencia o ductilidad en comparación con electrodos recubiertos.	Todas las posiciones	CC polaridad directa	1/8 - 5/32 pulg.
710	E-7010-A1	Para soldaduras con calidad de rayos X y alta resistencia a la tracción. La adición de 0.5% de molibdeno lo hace adecuado para aceros de baja aleación de muchos tipos. Penetración profunda, escoria delgada, deposición promedio.	Todas las posiciones	CC polaridad inversa	1/8 - 3/16 pulg.
LH-718	E-6018 E-7018	Este electrodo de bajo hidrógeno, con hierro en polvo, es excelente para aceros de baja aleación y aceros dulces en donde se necesita calidad y confiabilidad. Muy buena deposición, penetración mediana, escoria mediana. Aprobado por MIL -22200 IB.	Todas las posiciones	CA; CC polaridad inversa	3/32 - 1/4 pulg.
LH-728	E-6028 E-7028	Un nuevo electrodo que combina la alta velocidad de deposición del No. 24 con la calidad de bajo hidrógeno del LH-718. Se puede usar la técnica de arrastre.	Filete horizontal plano	CA; CC polaridad inversa	1/8 - 5/8 pulg.

Fuente: (Acesco, 2013)

## b. 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, CO<sub>2</sub>).

Al fundir el alambre se aporta al baño de fusión, por lo tanto debe tener una

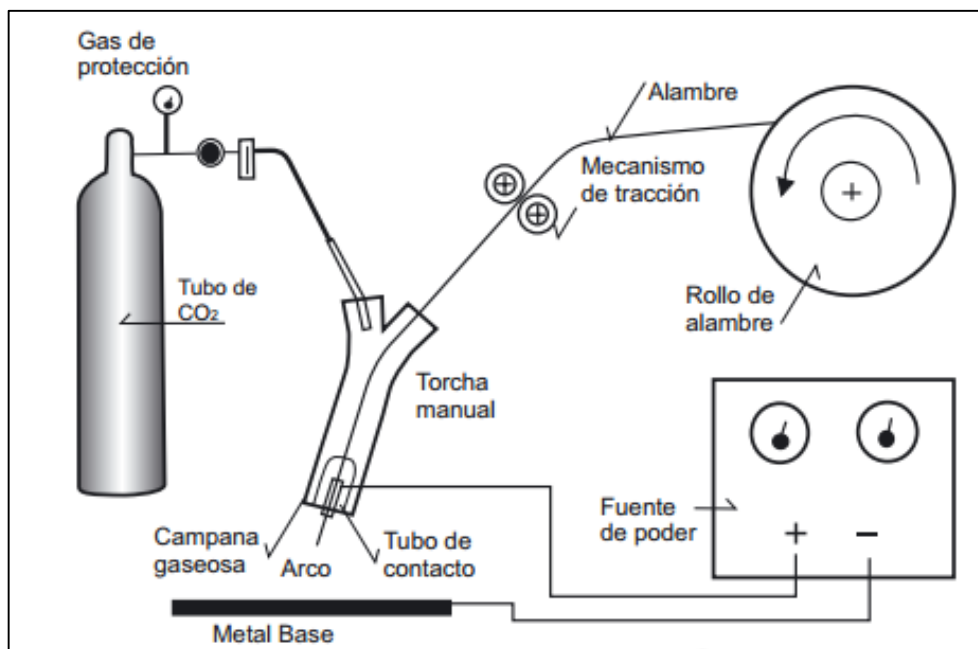
composición química tal que permita obtener las propiedades deseadas del cordón de soldadura y proveer, además, elementos desoxidantes que garanticen la calidad de dicho cordón. El CO<sub>2</sub>, utilizado para soldar acero al carbono, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- 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 CO<sub>2</sub>) y medidor de caudal.” (Asta, 2012, pág. 13)





Gráfica 18 Diagrama suelda GMAW.

Fuente: (Asta, 2012, pág. 13)

### c. 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 relleno 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 CO<sub>2</sub>.” (Asta, 2012, pág. 14)



Gráfica 19 Soldadora FCAW.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 14)

### 2.6.2 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.

#### 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.

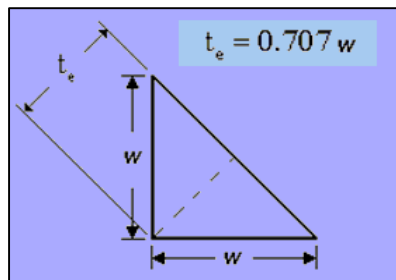
**Longitud ( $l$ ).** A la longitud real de la soldadura menos los cráteres extremos. Se admite que la longitud de cada cráter es igual a la garganta.

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.

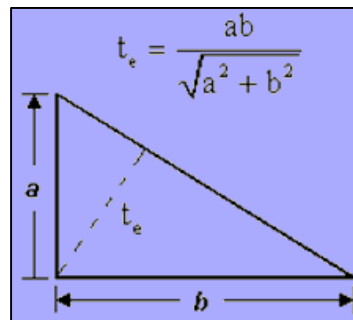
$$t_e = 0,707.w$$

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  $w$ .



Gráfica 20 Dimensión efectiva de garganta menor o igual a  $3/8''$ .  
Fuente: (Felix, 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).



Gráfica 21 Dimensión efectiva de garganta mayor que  $3/8''$ .  
Fuente: (Felix, 2011)

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

Tabla 9 Valores límite de garganta de una soldadura en ángulo.

<b>Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo en una unión de fuerza</b>		
<b>Espesor de la pieza (mm)</b>	<b>Garganta a</b>	
	<b>Valor máximo (mm)</b>	<b>Valor mínimo (mm)</b>
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.

Tabla 10 Resistencia de diseño de soldadura.

<i>Tipo de Soldadura y esfuerzo (a)</i>	<i>Material</i>	<i>coeficiente de resistencia</i>	<i>Resist. 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 Electrodo	0.90 0.80	$0.60F_y$ $0.60F_{EXX}$	
<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 Electrodo	0.75	(e) $0.60F_{EXX}$	
Tensión normal al área efectiva	Base Electrodo	0.90 0.80	$F_y$ $0.60F_{EXX}$	
<i>Soldadura de filete</i>				
Cortante en el área efectiva	Base Electrodo	0.75	(f) $0.60F_{EXX}$	Se puede usar soldadura con nivel de resistencia igual o menor al de la "compatible"
Tensión o compresión paralelas al eje de la 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 Electrodo	0.75	(e) $0.60F_{EXX}$	Se puede usar soldadura con nivel de resistencia igual o menor al de la "compatible"

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.  $F_y$ ).

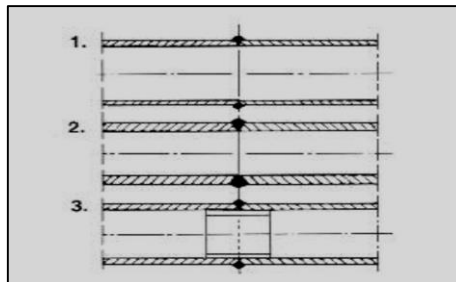
### 2.6.3 Tipos de uniones para perfiles estructurales.

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.



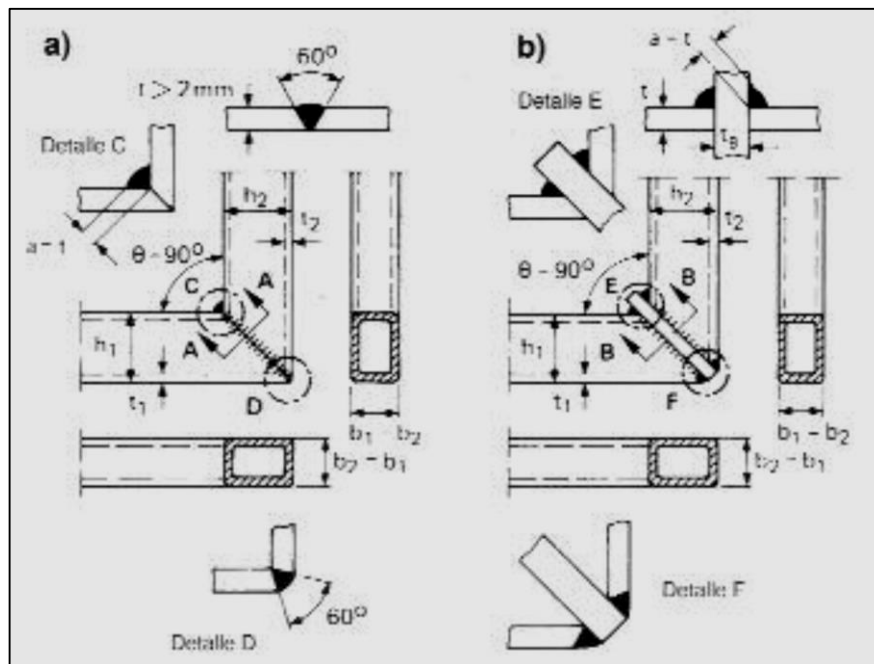
Gráfica 22 Tipos de empalmes.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 21)

#### 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.

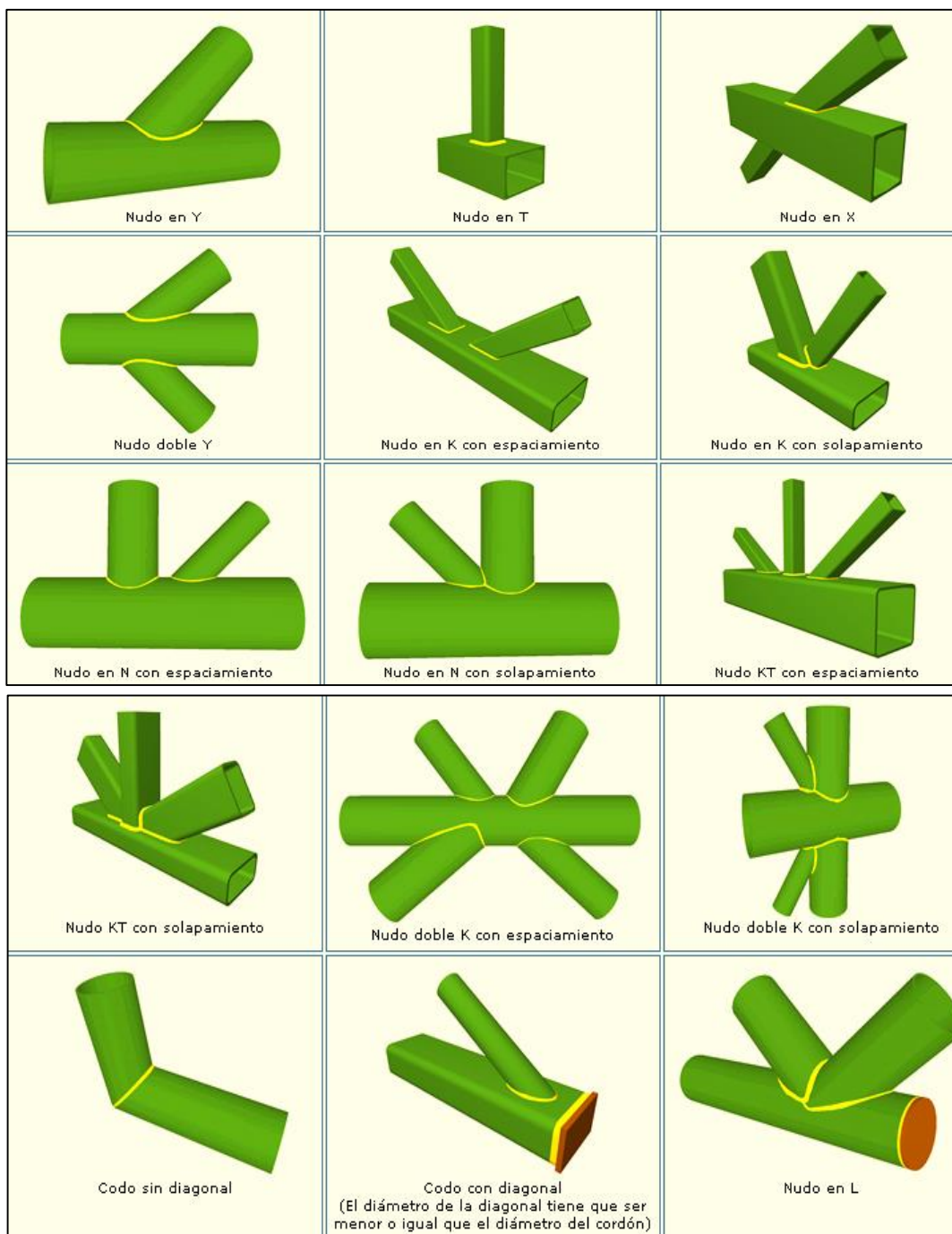


Gráfica 23 Nodos de ángulo recto.  
 Fuente: (Asta, 2012, pág. 35)

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.



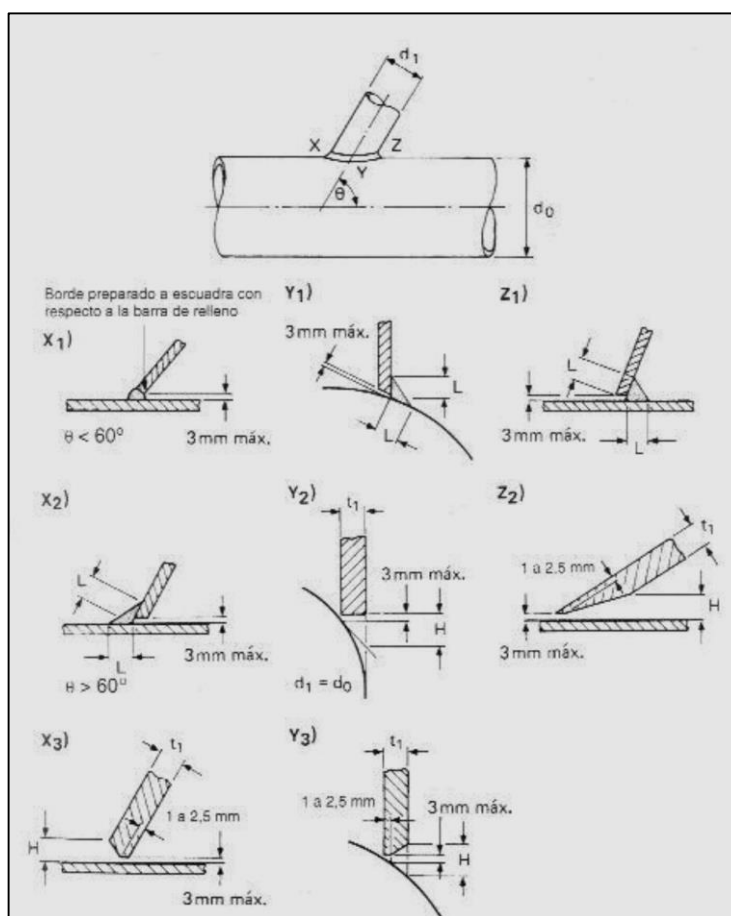
Gráfica 24 Diferentes tipos de uniones soldadas planas.

Fuente: (Asta, 2012, pág. 53)



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.

En la siguiente figura se muestran las condiciones básicas para aplicar soldaduras en ángulo y a tope. Los detalles muestran el cambio de bisel de soldadura al variar el ángulo de abertura punto a punto a lo largo del perímetro de intersección.



Gráfica 25 Soldaduras en ángulos entre perfiles tubulares circulares en nudos.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 55)

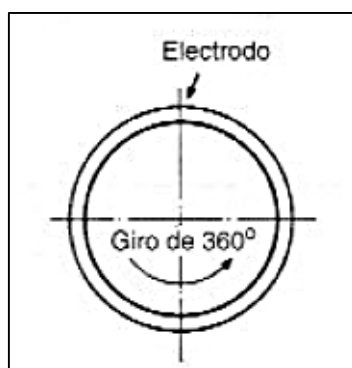
#### 2.6.4 Secuencias y posiciones para la soldadura de perfiles estructurales.

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.

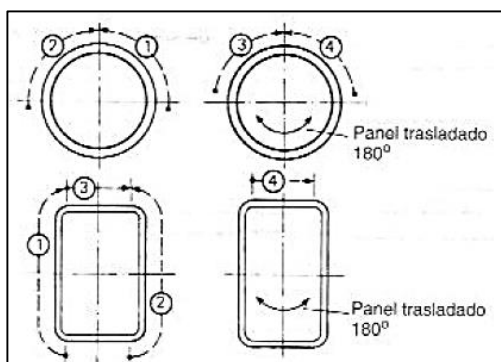
Dependiendo de la posición y de la movilidad de los elementos estructurales, se muestran a continuación cuatro posiciones para soldar en nudos de perfiles tubulares estructurales, junto con las secuencias de soldadura.

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



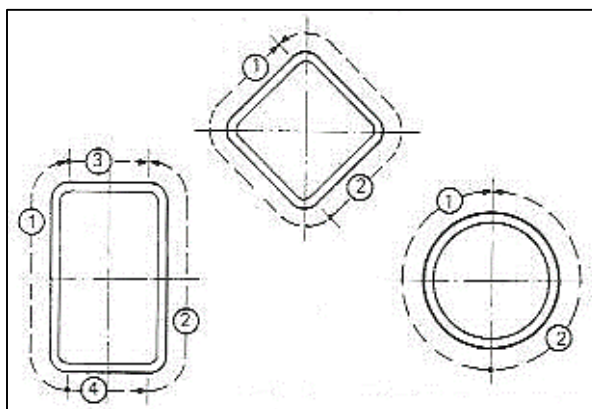
Gráfica 26 Soldadura circular de 360°.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 60)

**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.



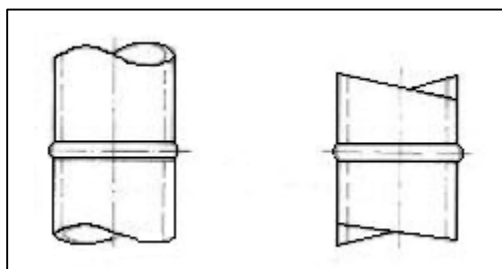
Gráfica 27 Soldadura vertical ascendente de 180°.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 60)

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



Gráfica 28 Soldadura vertical ascendente  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 61)

**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.



Gráfica 29 Soldadura horizontal.  
Fuente: (Asta, 2012, pág. 61)

### a. 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.

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, pág. 43)



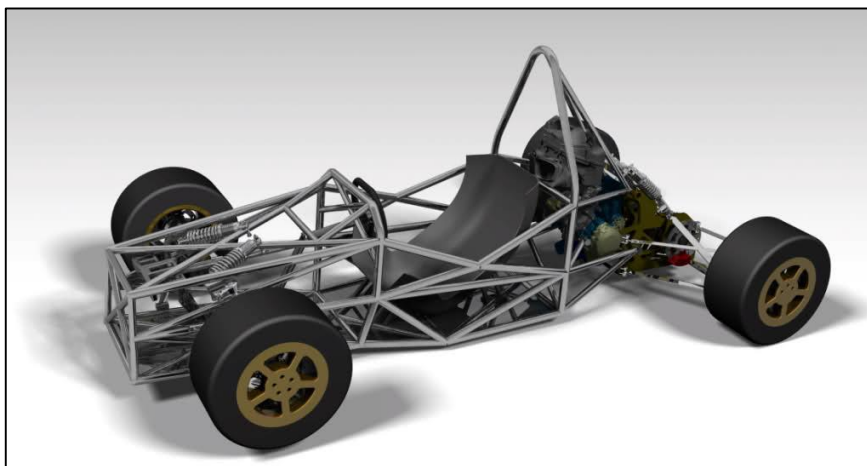
Gráfica 30 Punteado de soldadura.  
Fuente: Cunalata W, Terán J.

### 2.6.5 Sistemas CAD-CAM-CAE.

#### a. 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.

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.



Gráfica 31 Modelo hecho en inventor.  
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.

#### b. 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.” (Martínez, 2010, pág. 12)



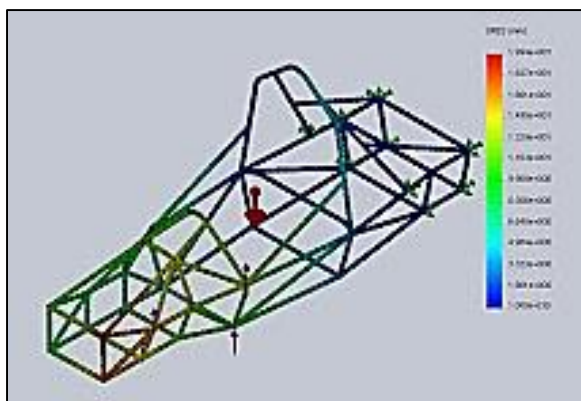
Gráfica 32 CAD/CAM.

Fuente: (Martínez, 2010, pág. 13)

### c. 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.



Gráfica 33 Modelo analizado en software CAE.  
Fuente: (URT- UTP Racing Team, 2011)

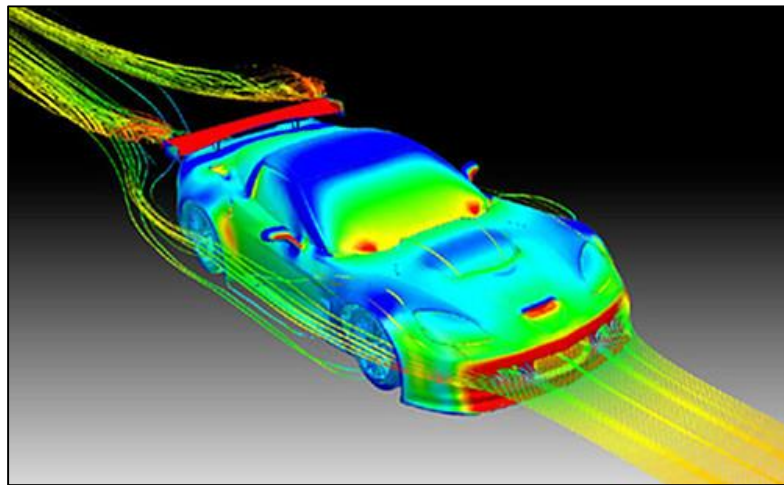
**Beneficios de CAE.** Los beneficios de software de tipo CAE incluyen reducción del tiempo y costo de desarrollo de productos, con mayor calidad y durabilidad del producto.

- “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)

**d. 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.



Gráfica 34 Análisis aerodinámico en ANSYS  
Fuente: (Plaza, 2009)



## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### **3.1 Requerimientos técnicos para el diseño y construcción del bastidor.**

Previo al diseño, existen metodologías que permiten identificar los parámetros de mayor importancia que se deben tener en cuenta al momento de la construcción, entre ellos se tiene: la casa de la calidad, mapas morfológicos y mapas de ponderación, lo que pertenece a un diseño concurrente.

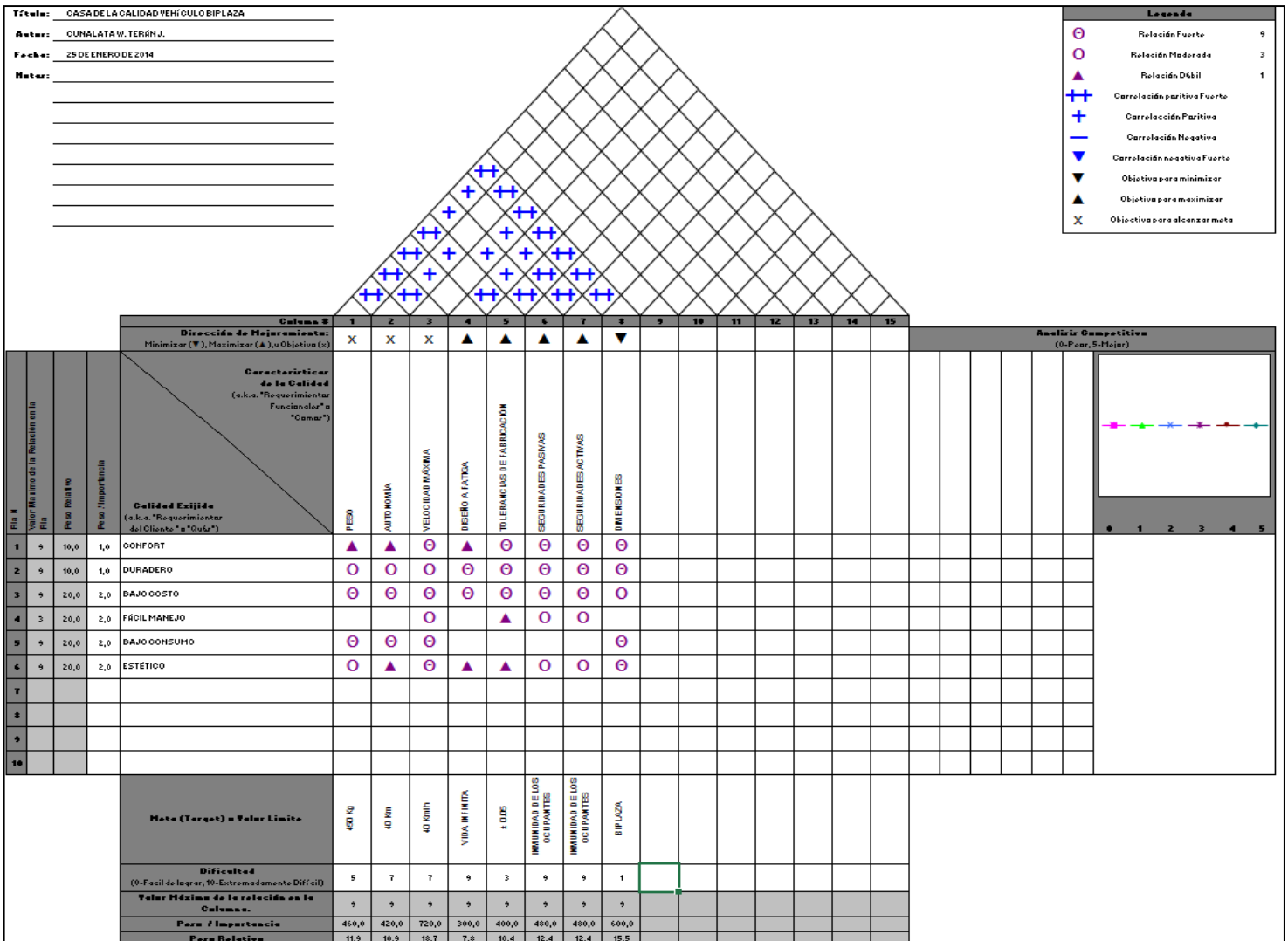
##### **3.1.1 Diseño concurrente.**

Es una filosofía orientada a integrar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos y procesos, además de otorgar una organización flexible y bien estructurada, proponer funciones apoyadas por tecnologías apropiadas y arquitecturas comunes de referencia. Son varios procesos que sirven para disminuir tiempos en el desarrollo de proyectos.

##### **3.1.2 Casa de la calidad.**

Es un diagrama con una forma parecida a la de una casa utilizado para definir la relación entre los deseos de los clientes y las capacidades técnicas de la oferta de algún producto.

Para el caso de estudio, se han considerado los parámetros mostrados a continuación:



Gráfica 35 Casa de la calidad.  
 Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 3.1.3 Mapa morfológico

Es una tabla en la que se cualifican las diferentes alternativas con sus respectivas características, con el fin de seleccionar la mejor opción de diseño

Se ha considerado la selección de varias opciones que constituyen el mapa morfológico detallado a continuación, para determinar una configuración inicial para el diseño.

Tabla 11 Mapa Morfológico tipo de vehículos.

<b>MAPA MORFOLÓGICO</b>		
<b>Alimentación</b>	Aire-Combustible/ Electricidad	Electricidad
<b>Fuente motriz</b>	Motor de Combustión Interna /Motor Eléctrico	Motor eléctrico
<b>Potencia</b>	Media	Baja
<b>Peso</b>	Elevado	Bajo
<b>Emisiones Contaminantes</b>	Moderadas	Nulas
<b>Costos de Mantenimiento</b>	Alto	Bajo

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 3.1.4 Mapa de ponderación.

Es una tabla de comparación similar al mapa morfológico, con la diferencia de que es un análisis cuantitativo, en el que se valoran las características de las alternativas, con el fin de realizar una selección más precisa.

Tabla 12 Mapa de ponderación tipo de vehículos.

<b>MAPA DE PONDERACIÓN</b>					
<b>Sistema</b>	<b>Vehículo de Combustión</b>			<b>Vehículo Eléctrico</b>	
	Ponderación	Valoración	Calificación	Valoración	Calificación
<b>Alimentación</b>	0,25	3	0.75	9	2.25
<b>Fuente motriz</b>	0,10	4	0.40	8	0.80
<b>Potencia</b>	0,10	9	0.90	6	0.60
<b>Peso</b>	0,20	7	1.40	8	1.60
<b>Emisiones Contaminantes</b>	0,25	2	0.50	9	2.25
<b>Costos de Mantenimiento</b>	0,10	4	0.40	6	0.60
<b>TOTAL</b>			4.35		8.10

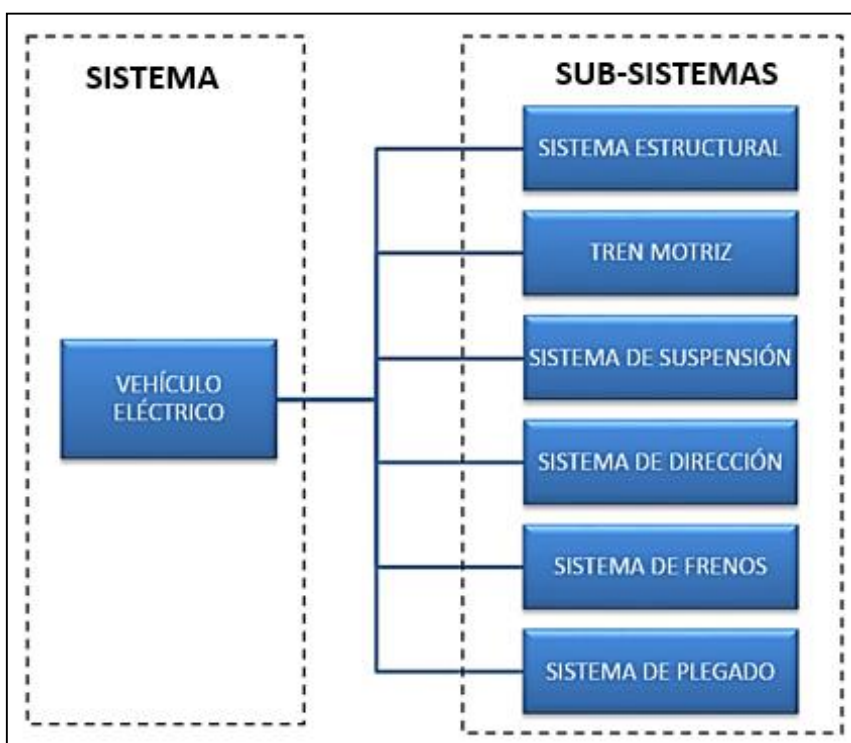
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Se ha determinado que la mejor opción, es la de la construcción de un vehículo eléctrico, para el caso.

Los requerimientos previos al diseño y construcción de un vehículo eléctrico se han determinado como:

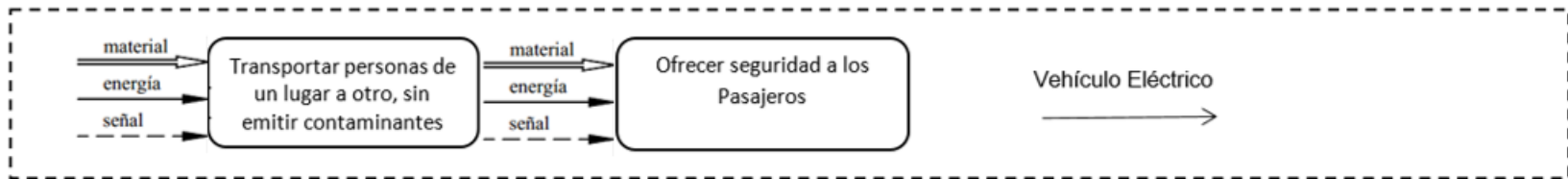
- Componentes y materiales accesibles.
- Liviano.
- Bajo costo de construcción y de operación.
- Diseño seguro.
- Estético.
- De fácil construcción.
- Duradero.

El vehículo eléctrico está compuesto de varios sub-sistemas indispensables para su funcionamiento, como son:

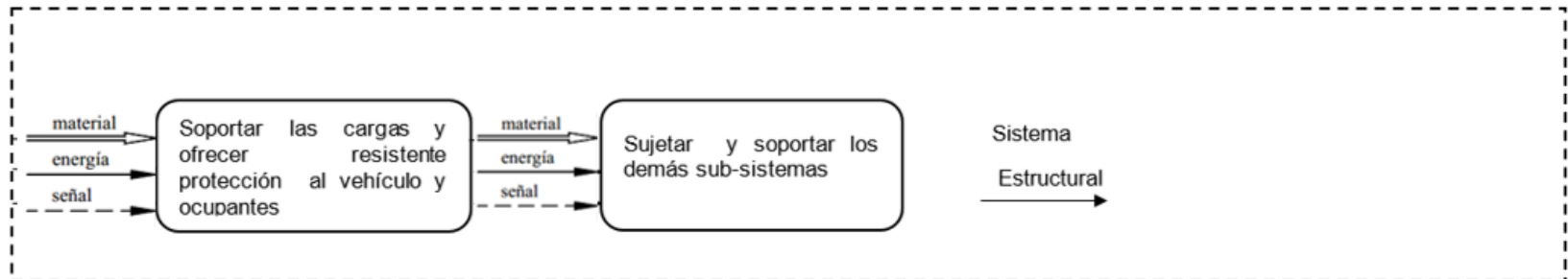


Gráfica 36 Sub – Sistemas del vehículo eléctrico.  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 3.2 Función principal del vehículo eléctrico.

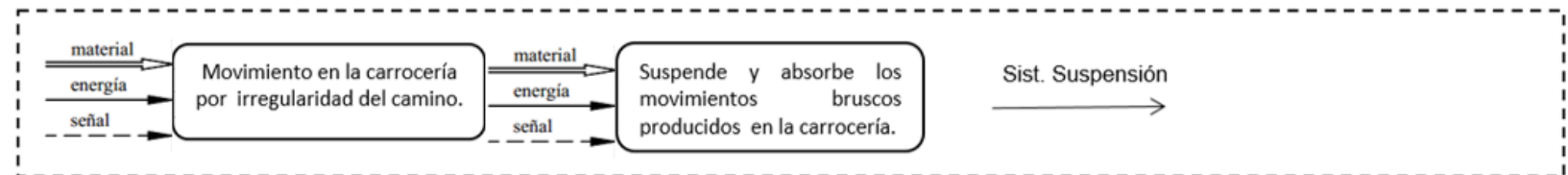


### 3.3 Función principal del sistema estructural.

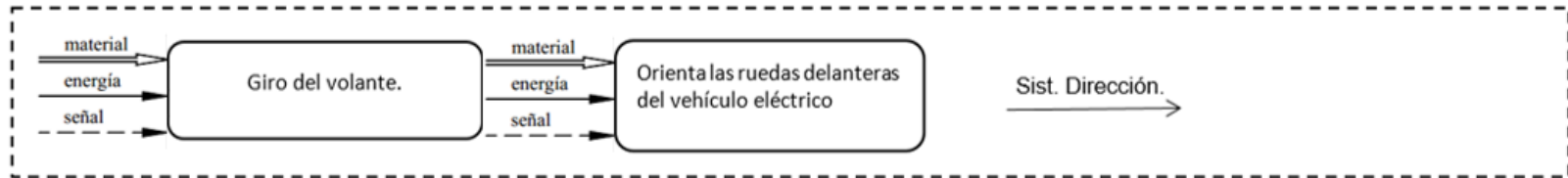


#### 3.3.1 Función de los sub-sistemas del vehículo.

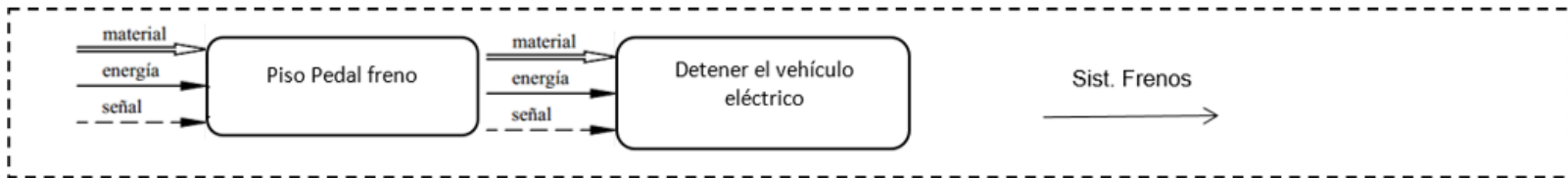
##### a. Sistema de suspensión.



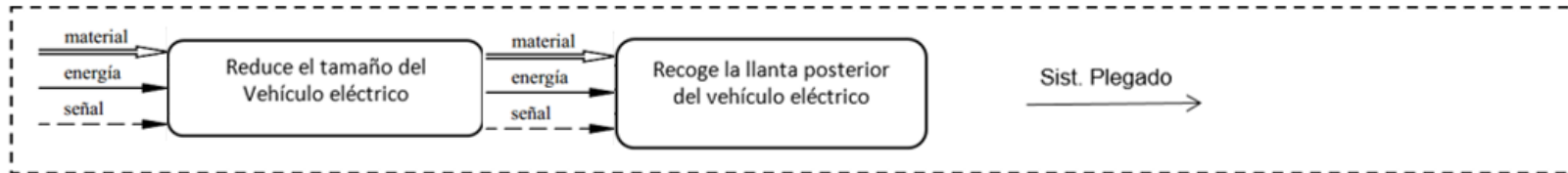
**b. Sistema de dirección.**



**c. Sistema de frenos.**

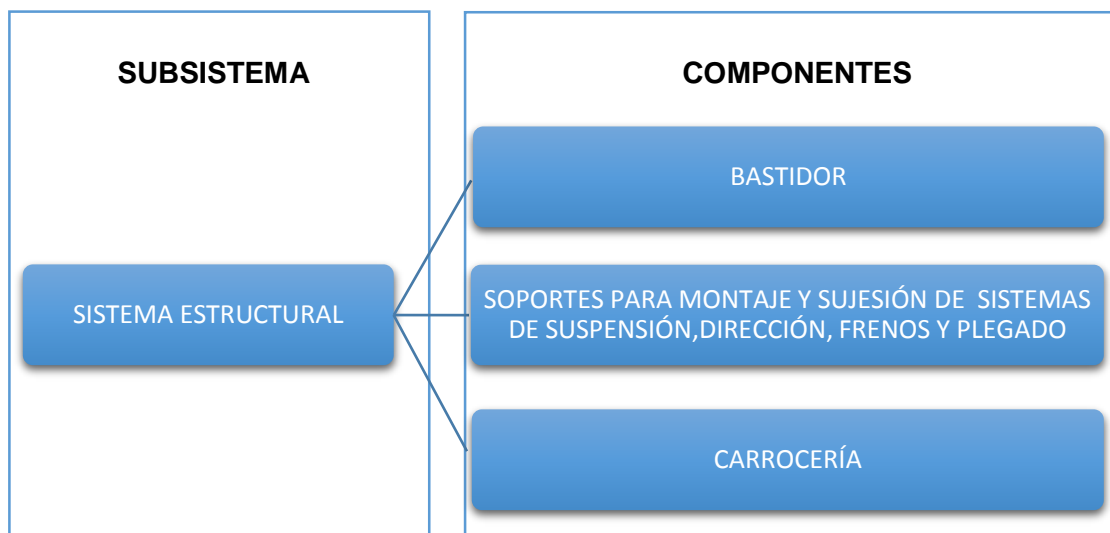


**d. Sistema de plegado.**



### 3.4 El sistema estructural.

Es el encargado de soportar todas las cargas que se apliquen al vehículo, así como también de sostener a los demás subsistemas, brindar estética y confort. Está compuesto de la siguiente manera:



Gráfica 37 Sistema estructural.

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 3.5 Determinación de parámetros y criterios para el diseño del bastidor.

El sistema estructural junto con sus componentes brindará una resistente protección y seguridad al vehículo y ocupante, siendo esta su función específica.

Para realizar un análisis de alternativas, primero hay que determinar la función del sistema estructural.

La tabla muestra los objetivos que se derivan de la función principal del sistema, los mismos que ayudan a generar las restricciones y variables.

Tabla 13 Parámetros previos al diseño.


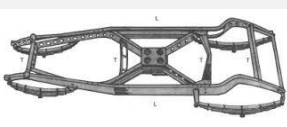
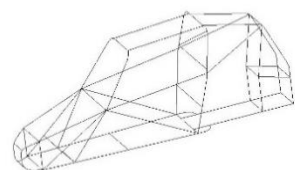
<b>FUNCIÓN PRINCIPAL</b>	Soportar las cargas y ofrecer resistente protección al vehículo y ocupante, además de sujetar y montar los demás subsistemas
<b>RESTRICCIONES</b>	Bajo costo, alta resistencia, alta rigidez, bajo peso.
<b>OBJETIVOS</b>	Minimizar peso y optimizar espacio.
<b>VARIABLES LIBRES</b>	Seleccionar el material ideal

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 3.6 Análisis de alternativas del sistema estructural.

Para poder escoger la mejor alternativa, se tiene que enunciar algunas opciones con sus características en un mapa de ponderación, para lo cual se ha postulado lo siguiente:

Tabla 14 Mapa morfológico tipos de bastidores.

	<b>OPCIÓN 1</b>	<b>OPCIÓN 2</b>	<b>OPCIÓN 3</b>
<b>Tipos de bastidor</b>	<b>MONOCASCO</b>	<b>LARGEROS LONGITUDINALES</b>	<b>TUBULAR</b>
			
<b>Característica</b>			
<b>Aplicación</b>	Automóvil	Automóvil	Buggies y deportivos
<b>Rigidez</b>	Alta	Media	Alta
<b>Resistencia</b>	Elevada	Elevada	Elevada
<b>Peso</b>	Medio	Medio	Bajo
<b>Costo de material</b>	Elevado	Elevado	Bajo



**Mantenimiento**                      Elevado                      Bajo                      Bajo

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Para tener una idea más clara de que opción es la más adecuada, se cree necesario hacer uso de un mapa de ponderación, en el que el peso y la resistencia tienen un valor mayor, seguido por el costo del material; ya que son las características del material que necesitan mayor atención para llegar a cumplir con el objetivo del sistema estructural.

Tabla 15 Mapa de ponderación tipos de bastidores.

MAPA DE PONDERACIÓN								
TIPO	Monocasco			Largueros Longitudinales		Tubular		
	Ponderación n	Valoración n	Calificación n	Valoración n	Calificación n	Valoración n	Calificación	
<b>Características</b>								
<b>Aplicación</b>	0,05	8	0,4	8	0,4	5	0,25	
<b>Rigidez</b>	0,10	7	0,7	5	0,5	8	0,8	
<b>Resistencia</b>	0,30	7	2,1	7	2,1	8	2,4	
<b>Peso</b>	0,30	5		6		9		
<b>Costo del Material</b>	0,20	5	1	4	0,8	8	1,6	
<b>Costo</b>	0,05	4	0,2	8	0,4	7	0,35	
<b>Mantenimiento</b>								
<b>TOTAL</b>			4,4		4,2		<b>5,4</b>	

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

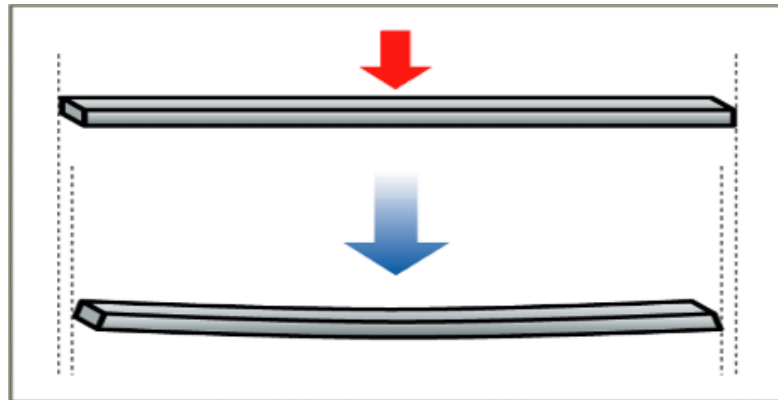
Se cree conveniente seleccionar el tipo de bastidor tubular como mejor opción, ya que brinda una gran rigidez, elevada resistencia, el costo del material es bajo, así como su peso.

### 3.6.1 Criterios sobre rigidez.

Lo ideal sería el poder imponer al bastidor tubular un límite de deformación máximo en todos los nudos de uniones, para la construcción

de un bastidor se recurre a un concepto, la rigidez en un bastidor, se tienen en cuenta dos aspectos: la rigidez a flexión y la rigidez torsional, además de que todas las secciones soporten los esfuerzos y no pandeen, por ello el conjunto de la estructura debe tener una rigidez torsional satisfactoria.

**Rigidez a flexión.-** Este término relaciona a cuánto se flexiona el bastidor debido a las cargas de los elementos que conforman el vehículo.



Gráfica 38 Rigidez a flexión  
Fuente: (Valverde, 2011)

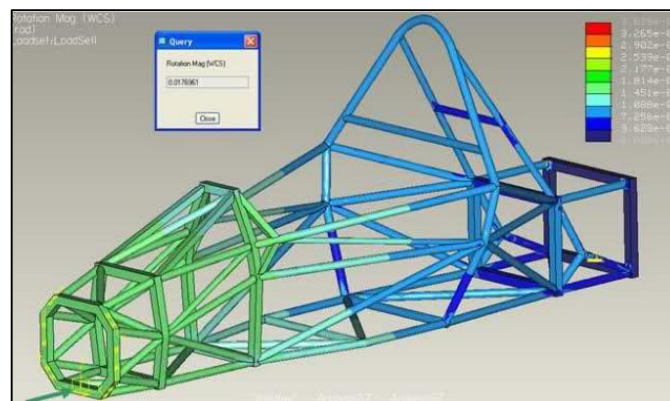
**Rigidez torsional.-** Relaciona cuánto se deforma un bastidor debido a un esfuerzo torsional, es la relación entre el momento de torsión aplicado en uno de sus extremos y el ángulo girado por este extremo, al mantener fijo el extremo opuesto de la barra.

$$\text{Rigidez torsional(Kg. m)} = \frac{\text{Par aplicado(Kg. m)}}{\text{ángulo girado(o)}}$$

Previo al diseño es importante tener en cuenta los siguientes puntos:

- Los subsistemas que conforman al vehículo se relacionan unos con otros, ya que proporcionan cargas que en ciertos casos no son despreciables, como es el caso del motor y CVT, se tendrán en cuenta al momento de diseñar.

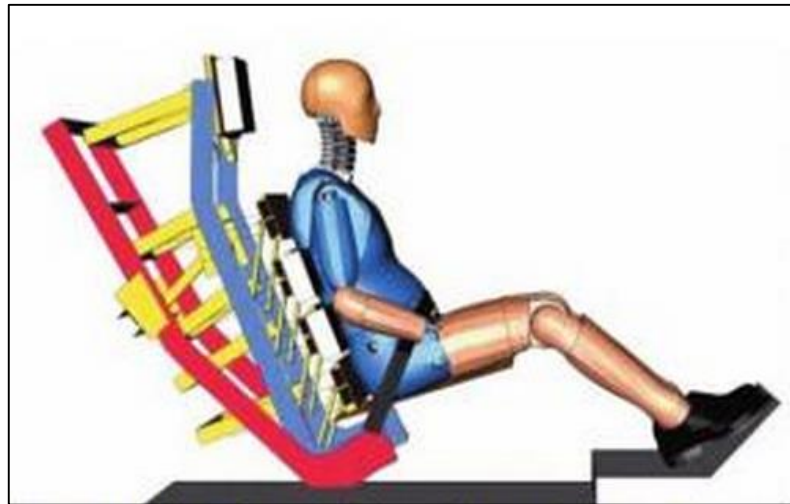
- Si se reduce el módulo de elasticidad (E), se tendrá que aumentar el momento de inercia (I) o el área de la sección (A) incrementando los diámetros de los tubos, como compensación para no afectar la rigidez total de la estructura.
- La correcta sujeción y montaje de los otros subsistemas ayudan a alargar la vida del bastidor.
- El bastidor deberá estar adecuado con todos los parámetros de una buena seguridad pasiva, por posibles impactos.
- Aunque para un choque interesa que la carrocería se deforme lo máximo posible, la parte que protege a los pies del conductor conviene que sea rígida.



Gráfica 39 Rigidez torsional  
Fuente: (Cárdenas, 2012)

### 3.6.2 Seguridad del ocupante.

Parte de la seguridad pasiva en el vehículo, forma el cinturón de seguridad el cual es un arnés diseñado para sujetar al ocupante, el objetivo de este es minimizar las heridas en una colisión, impidiendo que el pasajero se golpee con los elementos duros del interior y que sea arrojado fuera del vehículo.



Gráfica 40 Seguridad del ocupante.  
Fuente: (Gómez, 2012, pág. 61)

Los cinturones de seguridad poseen tensores que aseguran el cuerpo en el momento del impacto, con estas consideraciones se adoptará los cinturones de cuatro arneses, estos se colocarán lo más pegados posible al cuerpo, plano y sin nudos o dobleces, con el fin de mantener al ocupante en el asiento frente a cualquier circunstancia.



Gráfica 41 Cinturón de seguridad de cuatro arneses.  
Fuente: (Segovia, 2012)

### 3.6.3 Criterios sobre peso y su distribución.

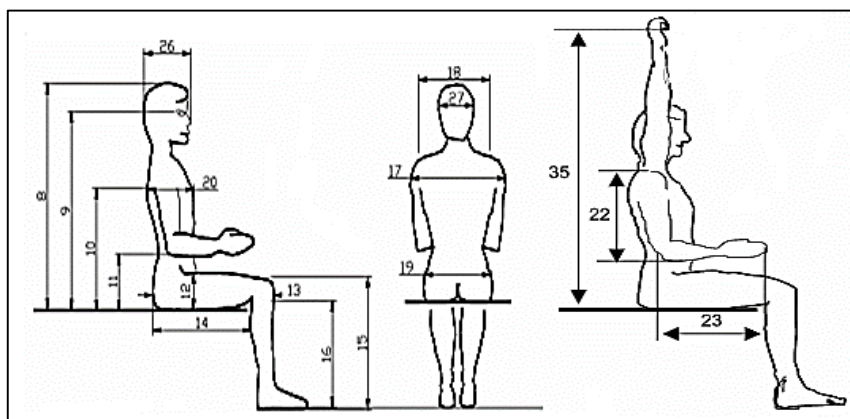
En el diseño de un bastidor tubular, en cuanto al peso y distribución se refiere hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Cuanto menos peso tenga la estructura tubular, respetando la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor, El peso total del vehículo también ejerce influencia sobre su estabilidad y también la correcta disposición de las cargas vivas y muertas que soportará el bastidor.
- Conviene que el centro de gravedad esté por delante del centro de presiones lateral para evitar inestabilidades en la conducción debidas a cambios súbitos de viento lateral, para la aerodinámica.

### 3.6.4 Criterios sobre el espacio y ergonomía.

Previo al diseño de la estructura tubular es importante determinar las necesidades de espacio que va a tener el mismo. Para las consideraciones

Se va a hacer referencia a las reglas de percentil 95%. El Percentil quiere decir que el 95% de los hombres es de tamaño menor que este modelo y que solo el 5% es mayor.



Gráfica 42 Disposición ergonómica del cuerpo humano.

Fuente: (Trávez, 2012)

A continuación se detallan las medidas del hombre 95% que se utilizarán para determinar el diseño de la cabina del vehículo.

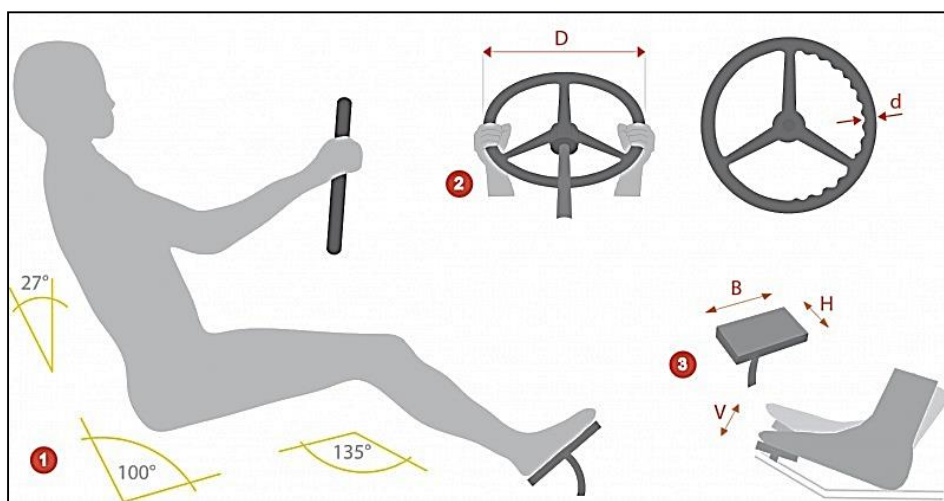
Tabla 16 Medidas del hombre promedio.

DIMENCIONES	PERCENTILES HOMBRE		PERCENTILES MUJER	
	5%	95%	5%	95%
1 - Altura	1625	1855	1505	1710
8-Sentado Altura	850	965	795	910
9-Altura de ojos sentado	735	845	685	795
10-Sentado Hombro	540	645	505	610
14-longitud nalga- poplíteo	440	550	435	530
15-altura de la rodilla	490	595	455	540
17-Hombro Manga	420	510	355	435
18-Hombro Manga	365	430	325	385
19-Hip Manga	310	405	310	435
20Profundidad de pecho	215	285	210	295
23-Codo punta de los dedos	440	510	400	460
27-Jefe Manga	145	165	135	150
26-Longitud	175	205	160	190

Parámetros ergonómicos del hombre 95%.

Considerando estas dimensiones que ayudarán a la correcta distribución del espacio en la cabina, se tendrá en cuenta estos tres parámetros ergonómicos que indican la posición adecuada para el cuerpo a la hora de

conducir.



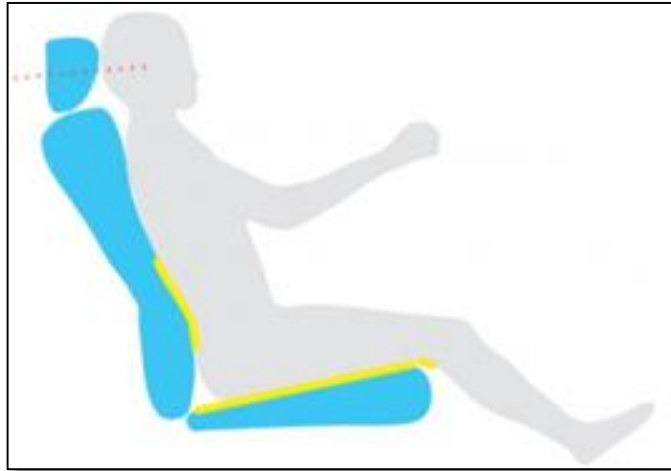
Gráfica 43 Disposición en el asiento.

Fuente: (Gutiérrez G. , 2009)

- “La inclinación del asiento debe permitir al usuario mantener un ángulo cercano a los  $100^\circ$  entre el muslo y su cadera, éste ángulo apoya la parte superior del cuerpo manteniendo la postura derecha y atenta. También se debe formar un ángulo de  $135^\circ$  aproximadamente entre los muslos y las piernas al alcanzar los pedales. Los hombros deben estar alineados con las caderas y posicionados firmemente detrás de ellas. Debe tener una inclinación máxima de  $27^\circ$  de la vertical.” (Troncoso, 2011, pág. 1)
- El manubrio debe tener de diámetro  $D$  un mínimo 180mm y un máximo de 250mm y el espesor del aro debe ser como mínimo de 20mm y un máximo de 50mm.
- Las dimensiones ideales que debe tener un pedal son de ancho  $B$  mínimo 75mm, una altura  $M$  mínima de 25mm, carrera  $V$  máxima de 60mm para el movimiento del talón solamente y una carrera  $V$  máxima de 75mm para el movimiento de toda la pierna.

La altura de la cabecera del asiento debe ajustarse de tal forma que la mitad de esta coincida con la altura media de las orejas del ocupante. El asiento debe

estar en la posición más cómoda y adecuada, en lo que se refiere a la distancia al suelo, a los pedales, y con la inclinación del respaldo que le asegure un soporte lumbar y sujeción lateral adecuada para una adecuada ergonomía del ocupante.



Gráfica 44 Apoya cabezas.  
Fuente: (Cajas, 2012)

### 3.6.5 Dimensiones del bastidor.

Para el dimensionamiento del bastidor tubular hay que considerar los siguientes parámetros:

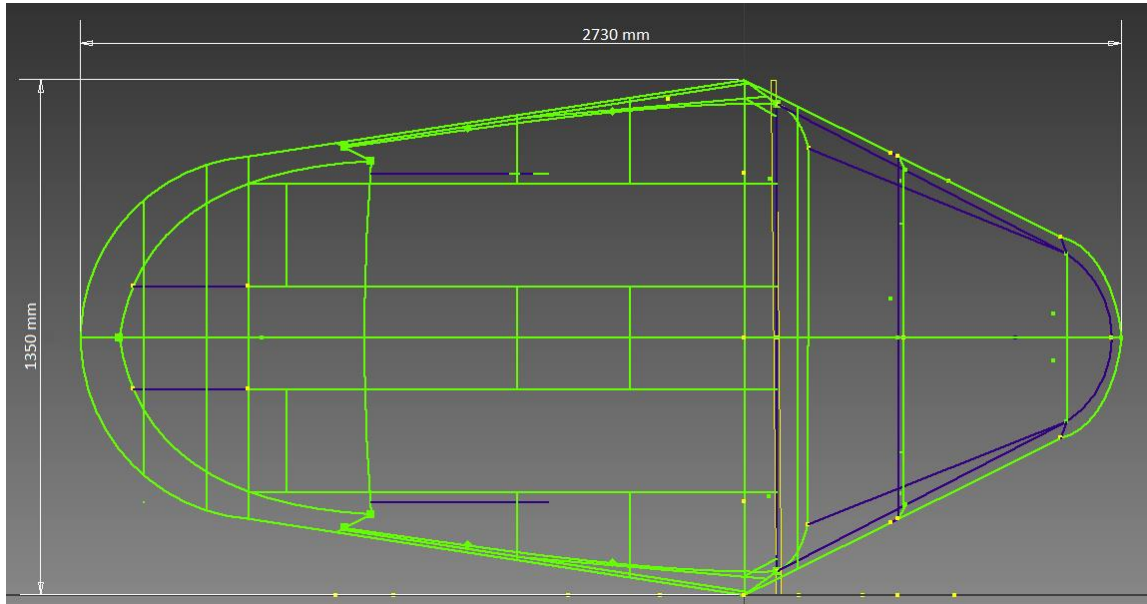
- En el diseño de la estructura donde se va ubicar cada uno de los elementos que constituirá el vehículo eléctrico, se debe considerar el espacio necesario para cada uno de ellos exactamente.
- Debe considerarse la facilidad de acceso para el mantenimiento de los elementos de propulsión.
- La estructura no debe interferir con el conductor en los movimientos que éste realice para la conducción.

“Para que el bastidor sea considerado dentro del rango de vehículos pequeños, sus dimensiones no deben sobrepasar de 4500 mm de largo por 2200 mm de ancho”. (Larrañeta, 2007)



### a. Longitud y ancho.

Se ha dibujado un bosquejo inicial de las medidas cercanas que tendrá el vehículo al momento de la construcción, tanto en ancho como en largo, desde una vista superior.

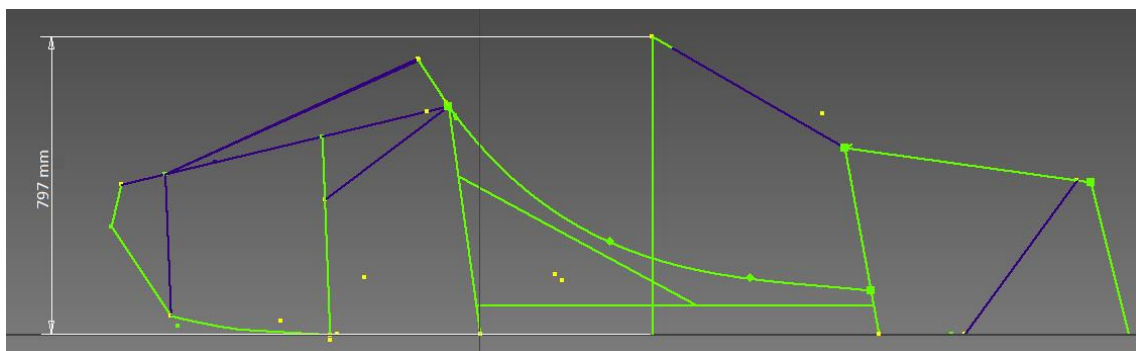


Gráfica 45 Esquema del ancho y longitud bastidor  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### b. Altura.

Las dimensiones de la altura de vehículo no deben ser muy altas, puesto que entre más bajo es el centro de gravedad, el vehículo será más estable, así como aerodinámico.

De igual manera, se ha utilizado una vista lateral, para apreciar la posible altura que tendrá el vehículo



Gráfica 46 Esquema altura  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 3.7 Selección del material.

Para la selección del material, se ha utilizado una herramienta informática llamada CES EduPack 2009, teniendo en consideración los requerimientos mecánicos del mismo.

El programa filtra las opciones, para que proporcione el material más adecuado, desplegando un listado de propiedades, las cuales hay que llenar los valores dependiendo de los límites mecánicos y físicos del material que se necesite para el proyecto. En los campos se ha designado valores como densidad, porcentaje de carbono, fósforo y azufre; además del Módulo de Young, módulo de corte, módulo de compresibilidad y factor de deformación. En ese momento, se ha podido llegar a filtrar la mayoría de materiales, hasta tener aceros inoxidable y bajas aleaciones de acero; de todos ellos, los más indicados son los aceros al carbón.

Disminuida la lista de materiales, se ha elegido como el material más adecuado al **acero al carbón AISI 1020 normalizado**, el mismo que al abrirlo, despliega un listado de todas sus propiedades, como se indica en la figura:

- CES EduPack 2009 - [MaterialUniverse:\Metals and alloys\Ferrous\Low carbon steel\AISI 1020]

File Edit View Select Tools Window Help Feature Request

Browse Search Select Print Search Web CES Help

Selection Project

1. Selection Data  
Select from: CES EduPack 2009 Level 3 Change...

2. Selection Stages  
Graph Limit Tree  
Stage 1: Limit  
Stage 2: Limit

3. Results: 101 of 2920 pass  
Rank by: Alphabetical

Carbon steel, AISI 1020, normalized

Layout: All attributes Show/Hide

**General properties**

**Designation**  
Carbon steel: AISI 1020 (normalized)

UNS number G10200  
Density 7.8e3 - 7.9e3 kg/m<sup>3</sup>  
Price \* 0.641 - 0.705 USD/kg

**Tradenames**  
CS1020, Steelmark-Eagle & Globe (AUSTRALIA); LASALLE 1018, LaSalle Steel Co. (USA);

**Composition overview**

**Composition (summary)**  
Fe/17-.23C/.3-.6Mn/<.04P/<.05S

**Base** Fe (Iron)

**Composition detail**

Element	Min	Max	Unit
C (carbon)	0.17	0.23	%
Fe (iron)	99.1	99.5	%
Mn (manganese)	0.3	0.6	%
P (phosphorus)	0	0.04	%
S (sulfur)	0	0.05	%

**Mechanical properties**

Property	Min	Max	Unit
Young's modulus	205	215	GPa
Shear modulus	79	84	GPa
Bulk modulus	158	175	GPa
Poisson's ratio	0.285	0.295	
Shape factor	59		
Yield strength (elastic limit)	310	350	MPa
Tensile strength	395	490	MPa
Compressive strength	310	350	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	310	350	MPa
Elongation	28	43	%
Hardness - Vickers	125	150	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 223	260	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 130	182	MPa
<i>Parameters: Stress Ratio = 0, Number of Cycles = 1e7</i>			
Fracture toughness	* 43	63	MPa.m <sup>1/2</sup>
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.00101	0.00121	

**Thermal properties**

Property	Min	Max	Unit
Melting point	1.48e3	1.52e3	°C
Maximum service temperature	* 340	356	°C
Minimum service temperature	* -68	-38	°C
Thermal conductivity	50	54	W/m.K

Gráfica 47 Propiedades acero AISI 1020  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Se puede observar que en propiedades y en composición química, el acero AISI 1020 es muy similar al ASTM A36, el cual es más accesible en el mercado ecuatoriano.

La estructura principal del vehículo eléctrico se construirá con tubo estructural ASTM A36, este material cumple con las características requeridas para el diseño y construcción del mismo como son:

- Propiedades mecánicas específicas.
- Costo.
- Sencillez de manufactura.
- Disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

En el **Anexo A**, se detalla el proceso para la Selección de material en el software ces Edupack 2009.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA.**

#### **4.1 Determinación de las cargas que soporta el bastidor.**

Para el diseño del bastidor es importante estimar las cargas que va a soportar la estructura, previo al análisis computacional estático, al que va ser expuesto el bastidor.

Las dimensiones y pesos exactos se desconocen y por ello se ha considerado pesos estimados de cada uno de los elementos que conforma el vehículo eléctrico, a continuación se detalla cada una de las cargas vivas y muertas estimadas para su diseño.

##### **4.1.1 Cargas muertas.**

En las cargas muertas se estima el peso total del bastidor en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y accesorios establecidos de la estructura tubular.

Tabla 17 Cargas muertas del bastidor.

<b>Cargas muertas en el bastidor</b>		<b>Masa(Kg)</b>	<b>Peso(N)</b>
1	Moto Eléctrico	50	490
2	CVT	7,50	73,50
3	Baterías(4)	120	1176
4	Variador de giro	6	58,80
5	Asientos(2)	20	196
6	Estructura tubular	150	1470
<b>Carga muerta Total (sin carrocería)</b>		<b>353,5</b>	<b>3464,30</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### 4.1.2 Cargas vivas

Las cargas vivas se consideran a los ocupantes; Para ello se estima el peso promedio de una persona (percentil 95%), cuyo peso es de 75 Kg.

Tabla 18 Cargas vivas en el bastidor.

<b>CARGAS</b>	<b>Masa (Kg)</b>	<b>PESO (N)</b>	<b>Tipo de carga</b>	<b>Distribución</b>
1 Ocupantes (2)	150	1470	Viva	Distribuida

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### 4.1.3 Cargas estáticas.

Existen dos tipos de cargas estáticas en el diseño de un bastidor, la carga viva (CV) y la carga muerta (CM).

#### 4.1.4 Cargas dinámicas.

En el caso de las cargas dinámicas, existen cargas de aceleración brusca (CAb), cargas de frenado (CF), Cargas de giro (CG) y cargas por resistencia del aire frontal (CRaf).

##### a. Cálculo de frenado.

$$a = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2S}$$

Donde,

a = aceleración (m/s<sup>2</sup>).

V<sub>1</sub> = Velocidad final (m/s).

V<sub>0</sub> = Velocidad inicial (m/s).

S = Distancia de Frenado (m).

Para calcular la distancia de frenado, hay que tener en consideración la energía cinética del vehículo, la misma que para que el vehículo sea detenido, se necesita un trabajo de igual magnitud, para pararlo.

$$Ec = \frac{m * V^2}{2}$$

Donde,

Ec= Energía Cinética del vehículo (N.m).

m= masa del vehículo (Kg).

V= Velocidad (m/s).

$$T = P * \mu * S$$

T = Trabajo de frenado (N.m).

P = peso del vehículo = (masa\*gravedad).

μ = Coeficiente de Rozamiento.

S = Distancia de Frenado (m).

$$\frac{m * V^2}{2} = m * g * \mu * S$$

$$S = \frac{V^2}{2 * g * \mu}$$

El coeficiente de rozamiento para un camino hecho de asfalto es de 0.67

$$S = \frac{[13.89(m/s)]^2}{9.8(m/s^2) * 0.67}$$

$$S = 14.7m$$

Una vez calculada la distancia de frenado, se calcula la aceleración.

$$a = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2S}$$

$$a = \frac{0^2 - [13.89 \left(\frac{m}{s}\right)]^2}{2 * 14.7m}$$

$$a = -6.56m/s^2$$

La masa total viene a ser la suma de las masas de las cargas vivas y las cargas muertas.

$$m_T = m_{CV} + m_{CM}$$

$$m_T = 150Kg + 353.5Kg$$

$$m_T = 503.5Kg$$

La carga de Frenado viene dada por:

$$CF = m_T * a$$

$$CF = 503.5Kg * (-6.56)m/s^2$$

$$CF = -3302.96N$$

## b. Cargas de giro

“Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad, esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre el peso



total del vehículo a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90Km/h y el radio de giro se establece en la tabla a continuación” (INEN, 2009, pág. 8)

Por las características del vehículo no va a llegar a 90Km/h (25m/s), en virtud que el diseño y selección de los sistemas del vehículo eléctrico están para una velocidad máxima de 50 Km/h (13,89 m/s).

Tabla 19 Radio de curvatura vs velocidad del vehículo.

Velocidad del vehículo (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)
80	250
85	300
90	350
95	400
100	450
105	500
110	550
115	600
120	700
125	800
130	900
135	1050
140	1250
145	1475
150	1725

Fuente: (INEN, 2009)

La fórmula de aceleración centrípeta es:

$$a_c = \frac{v^2}{r_c}$$

Donde,

$a_c$  = Aceleración Centrípeta (m/s<sup>2</sup>).

$v$  = Velocidad del vehículo (m/s).

$r_c$  = Radio de Curvatura (m).

$$a_c = \frac{[25 \left(\frac{m}{s}\right)]^2}{350}$$

$$a_c = 1.78m/s^2$$

Para el cálculo de la carga de giro se usa.

$$CG = m_T * a_c$$

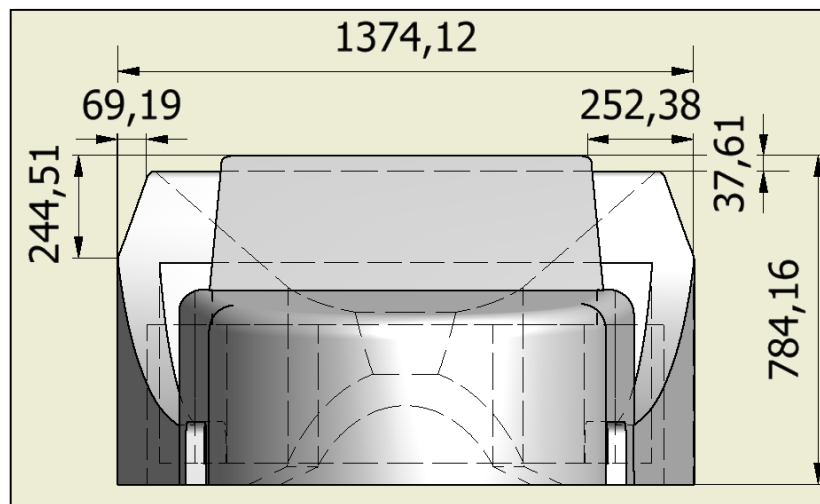
$$CG = 503.5Kg * 1.78m/s^2$$

$$CG = 899.107N$$

### c. Carga de resistencia al aire frontal.

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

En la imagen se puede apreciar la vista frontal de la carrocería en la cual va a impactar el viento.



Gráfica 48 Vista frontal de la carrocería.  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Para calcular el área frontal de impacto con el viento, se lo debe hacer por secciones, por ejemplo, se obtiene el área del rectángulo mayor, y se restan las cuatro secciones de los dos triángulos y los dos rectángulos pequeños.

$$A1 = B * h$$

$$A1 = 1374.12mm * 784.16mm$$

$$A1 = 1077529.94mm^2$$

$$A2 = \frac{B2 * h2}{2}$$

$$A2 = \frac{69.19mm * (244.51mm - 37.61mm)}{2}$$

$$A2 = 7157.71$$

$$A3 = B3 * h3$$

$$A3 = 252.38mm * 37.61mm$$

$$A3 = 9492.01mm^2$$

$$Af = A1 - A2 - A3$$

$$Af = 1077529.94mm - 7157.7mm - 9492.01mm$$

$$Af = 1060880.23mm^2$$

$$Af = 1.06m^2$$

Donde,

A1 = Área del rectángulo exterior (m<sup>2</sup>).

A2 = Área del triángulo (m<sup>2</sup>).

A3 = Área del rectángulo interior (m<sup>2</sup>).

B = Base (m).

h = Altura (m).

Af = Área Frontal (m<sup>2</sup>).

La fórmula para calcular las cargas de resistencia al aire frontal es:

$$CRaf = \frac{C_x * \rho * Af * v^2}{2}$$

Donde,

$CRaf$  = Carga de resistencia al aire frontal (N).

$C_x$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica.

$\rho$  = Densidad del aire ( $Kg/m^3$ ).

$A_f$  = Área frontal del vehículo ( $m^2$ ).

$v$  = Velocidad del vehículo (m/s).

“La densidad del aire en la ciudad de Latacunga, a  $20^\circ C$  es de  $1,199Kg/m^3$ ”  
(Novoa, 2006, pág. 33)

“El coeficiente de resistencia aerodinámica se debe tener como mínimo 0.7”  
(INEN, 2009, pág. 9)

$$CRaf = \frac{0.7 * 1.199 \left(\frac{kg}{m^3}\right) * 1.06(m^2) * [13.89 \left(\frac{m}{s}\right)]^2}{2}$$

$$CRaf = 85.82N$$

Tabla 20 Cargas dinámicas en el bastidor

<b>CARGAS DINÁMICAS</b>		
Designación	Cargas Dinámicas	Valor
CF	Cargas de frenado	-3302.96N
CAb	Cargas de aceleración Brusca	3302.96N
CRaf	Carga por resistencia al aire frontal	85.82N
CG	Cargas de giro	899.107N

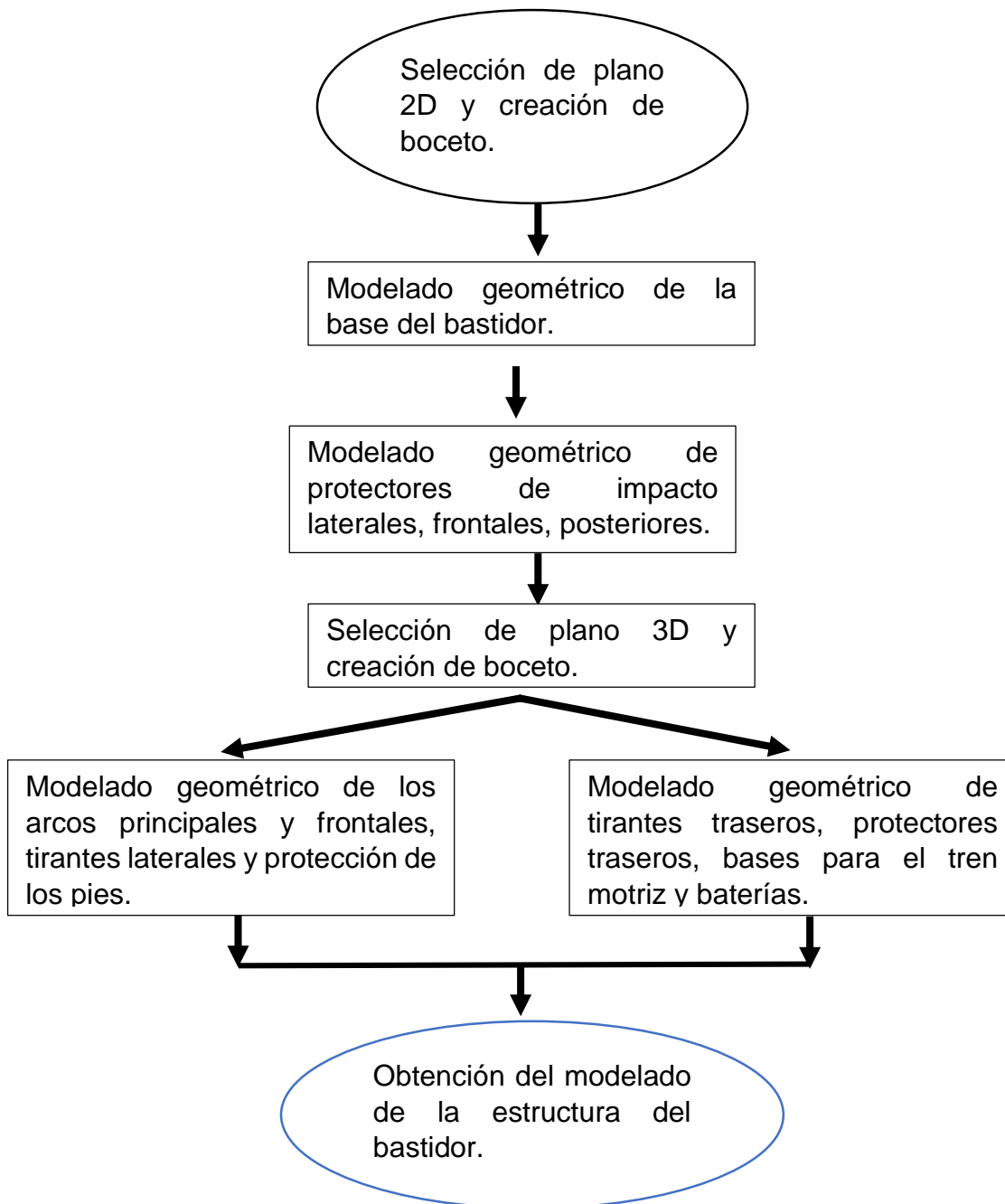
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

## **4.2 Diseño de la geometría del bastidor.**

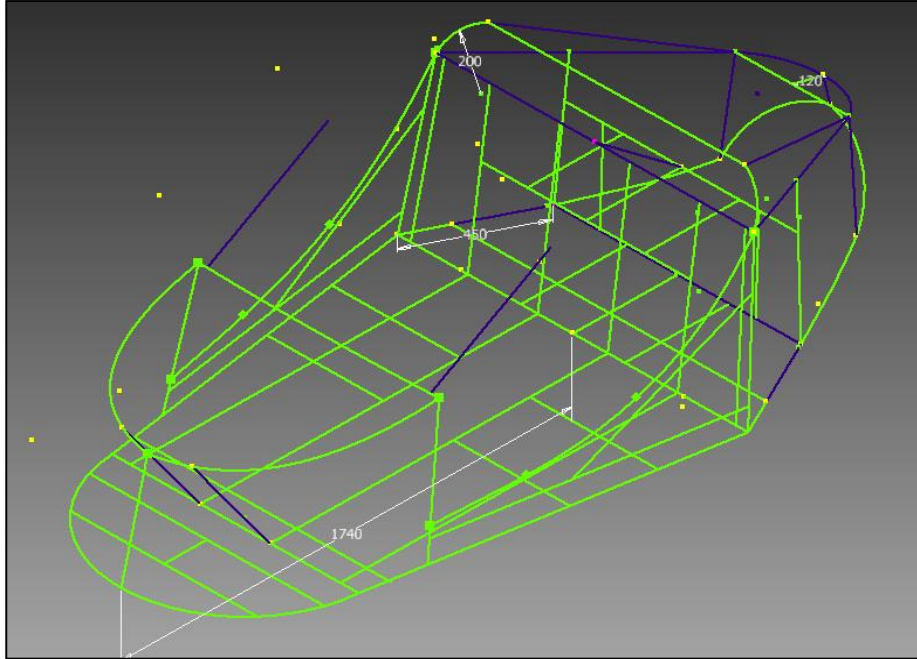
En el diseño del bastidor se consideran varios aspectos importantes, como restricciones previas al mismo, los cuales han sido analizados minuciosamente en el capítulo anterior, como el espacio, ergonomía y confort, seguridad, peso y su distribución, dimensiones; son requerimientos fundamentales y necesarios para el desarrollo del proyecto. El modelado se ha realizado con ayuda de un software CAD, ya que este brinda grandes ventajas para el mismo.

El desarrollo del proceso de modelado geométrico de la estructura del bastidor y la generación de perfiles estructurales y especificaciones del material, se representa en los siguientes diagramas.

#### 4.2.1 Diagrama de modelado del bastidor.



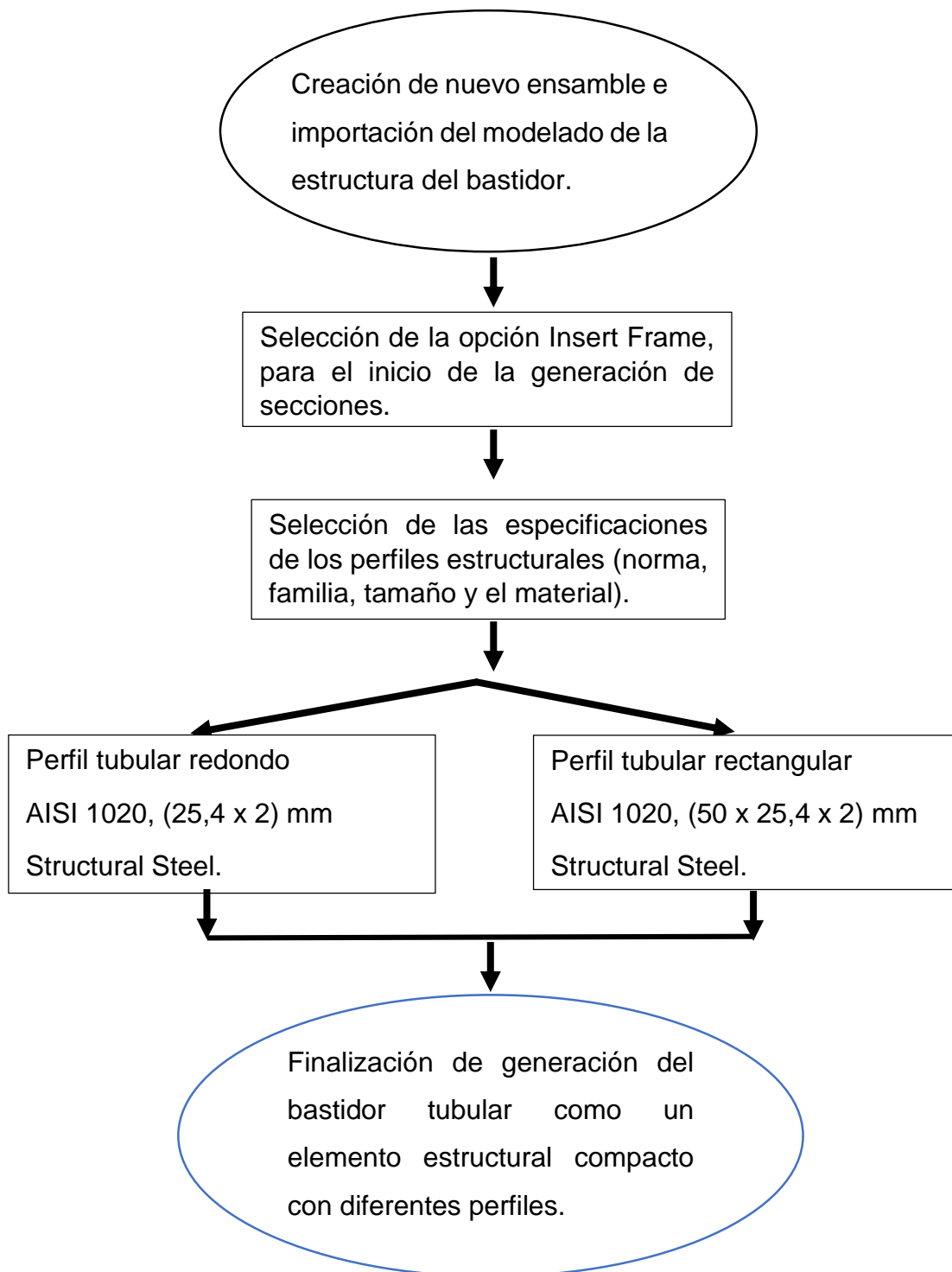
En la siguiente imagen se puede observar el modelado final de la estructura del bastidor obtenido en el software CAD.



Gráfica 49 Modelado final del bastidor.  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

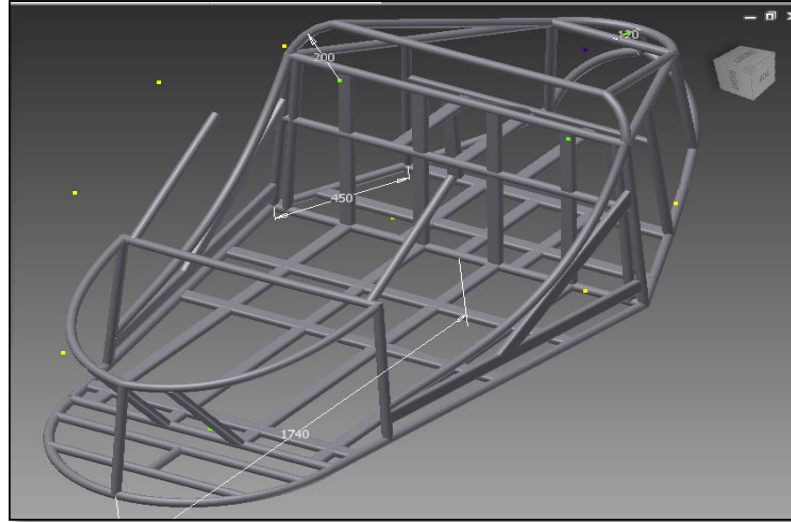
En el **Anexo B**, se detalla el proceso del modelado del bastidor en el software CAD.

#### 4.2.2 Generación de perfiles estructurales y especificaciones del material.





En la siguiente imagen se muestra la generación de perfiles del bastidor, obtenido del software CAD.



Gráfica 50 Generación de los perfiles estructurales del bastidor.  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

En el Anexo C, se detalla el proceso para la generación de perfiles estructurales y especificaciones del material en el software CAD.

### 4.3 Estudio estático del bastidor.

En el desarrollo del proyecto se va a realizar el estudio estático estructural del bastidor tubular, con el fin de obtener resultados del comportamiento del bastidor bajo cargas, como lo son: pesos de ocupantes, pesos de baterías y tren motriz.

El análisis se ha realizado en un software CAE, ya que este brinda resultados con una alta exactitud, donde ayudara a resolver y entender si el diseño es seguro y fiable antes de que éste sea construido.

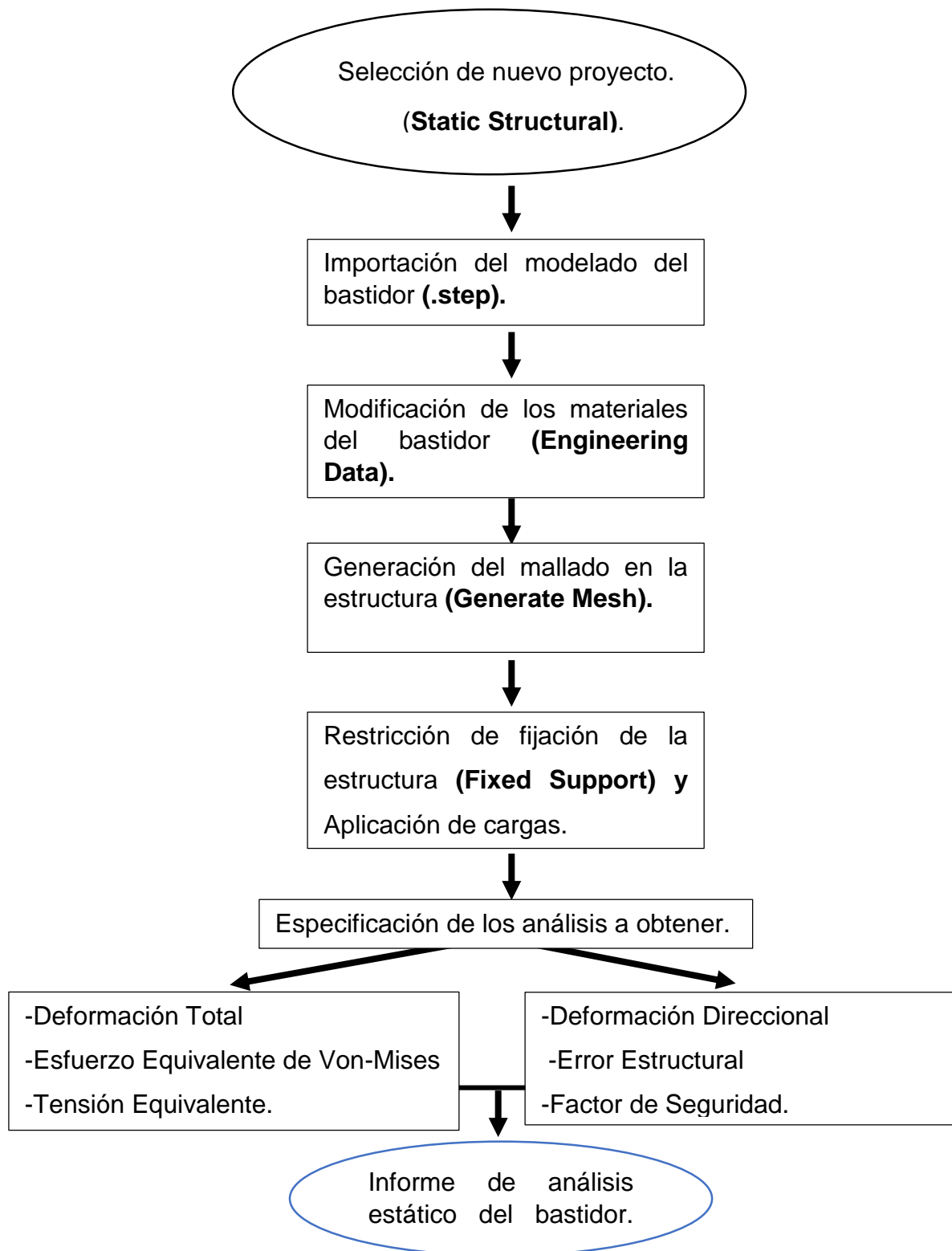
En el siguiente diagrama se representa el proceso del análisis estático realizado por el herramienta CAE.

Tabla 21 Cargas aplicadas en el bastidor.

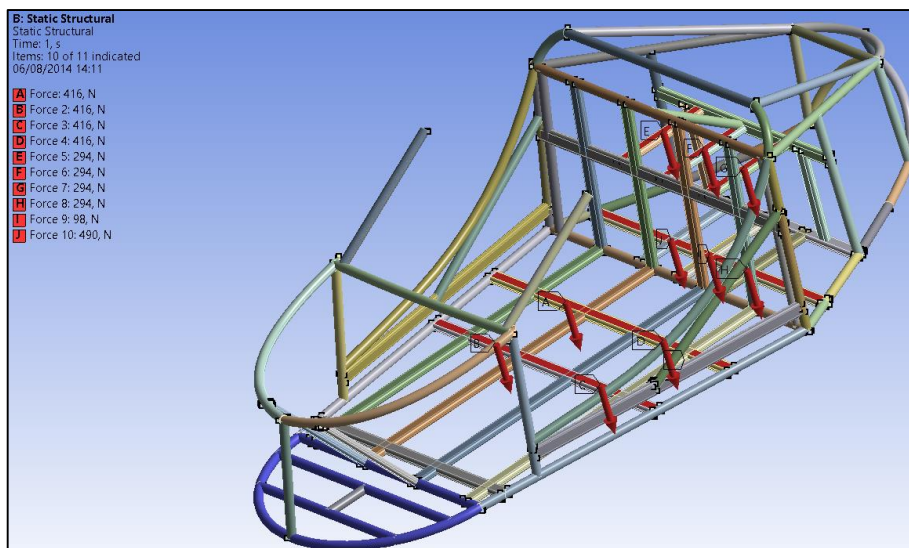
Cargas	Descripción	Valor
1	Ocupante 1 Parte Delantera	416 N
2	Ocupante 1 Parte Trasera	416 N
3	Ocupante 2 Parte Delantera	416 N
4	Ocupante 2 Parte Trasera	416 N
5	Batería 1	294 N
6	Batería 2	294 N
7	Batería 3	294 N
8	Batería 4	294 N
9	Sistema de Transmisión CVT	98 N
10	Motor Eléctrico	490 N

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### 4.3.1 Diagrama de estudio estático del bastidor.



En la imagen se muestra al bastidor tubular expuesto a cargas estaticas, en el software CAE.



Gráfica 51 Asignación de cargas para el análisis estático de la estructura.  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

En el **Anexo D**, se detalla el proceso a seguir para la realización del análisis estático de la estructura del bastidor, en el software CAE.

#### 4.3.2 Informe de análisis estático del bastidor.

Tabla 22 Membrete del análisis.

Nombre del objeto	Bastidor vehículo eléctrico
<b>Caja límite</b>	
<b>Longitud X</b>	2,6089 m
<b>Longitud Y</b>	1,2964 m
<b>Longitud Z</b>	1,6493 m
<b>Propiedades</b>	
<b>Volumen</b>	1,9782e-002 m <sup>3</sup>
<b>Masa</b>	155,29 kg

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Tabla 23 Informe del factor de seguridad.

<b>Nombre del objeto</b>	<b>Factor de seguridad</b>
<b>Estado</b>	Resuelto
<b>Resultados</b>	
<b>Mínimo</b>	<b>2,9653</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Tabla 24 Límite de compresión elástico.

<b>Resistencia de fluencia a la compresión (Pa)</b>
<b>2,5e+008</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Tabla 25 Límite de tensión elástico.

<b>Resistencia a la tracción (Pa)</b>
<b>2,5e+008</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Tabla 26 Resistencia a la tracción.

<b>Esfuerzo último de tensión (Pa)</b>
<b>4,6e+008</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Tabla 27 Elasticidad isotrópica.

<b>Módulo de Young (Pa)</b>
<b>2,e+011</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### 4.3.3 Análisis de resultados de la estructura del bastidor.

Para una mayor fiabilidad y exactitud 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.

**Esfuerzo máximo**, ya que es necesario compararlo con el límite de fluencia del material seleccionado, para el caso el acero ASTM A36, con el fin de una comprobación de que el material soporta las cargas aplicadas.

**Tensión equivalente (Von Mises)**, “Richard Edler 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 A36.

**Deformación direccional**, Las cargas aplicadas a la estructura tienen un solo sentido, por lo que es necesario verificar la deformación que sufrirá la estructura en esa dirección.

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

##### a. Deformación total.

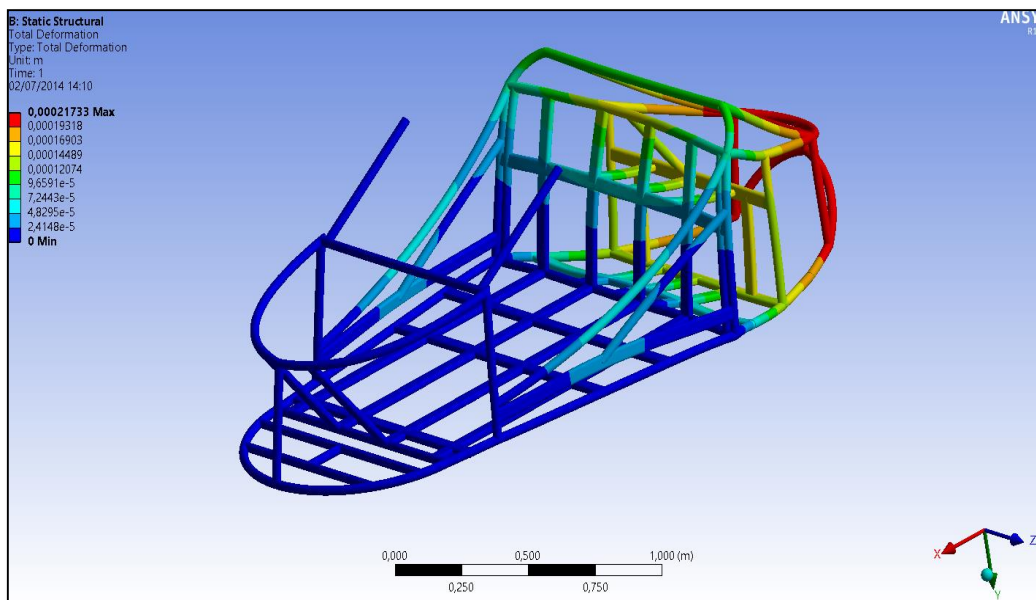
Al obtener estos datos, se puede observar en la gráfica, como varía dependiendo del sector y del tipo de tubo.

Tabla 28 Deformación total.

<b>Deformación total máxima</b>	<b>0.00021733 m</b>
<b>Deformación total mínima</b>	<b>0 m</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

El diseño no va a tener una variación mayor que 0.22 mm, lo que indica que la estructura es segura.



Gráfica 52 Deformación total.  
 Realizado por: Cunalata W, Terán J.

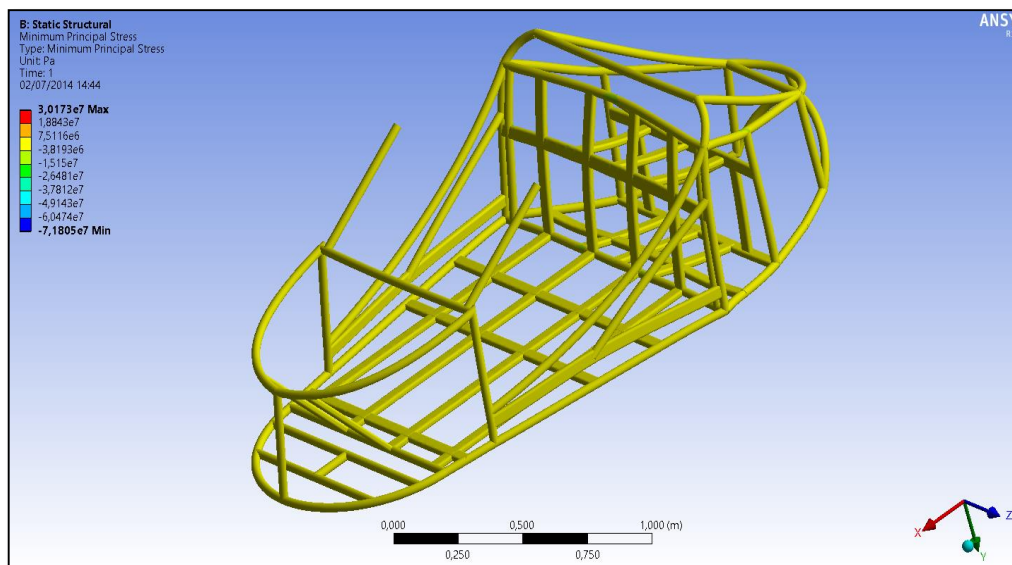
### b. Esfuerzo máximo.

Con los datos obtenidos acerca del esfuerzo máximo, se procede a comparar con el límite de fluencia máximo del Acero ASTM A36.

Tabla 29 Esfuerzo máximo.

<b>Esfuerzo máximo obtenido</b>	<b>30.173 MPa</b>
<b>Límite de fluencia acero ASTM A36</b>	<b>250 MPa</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.



Gráfica 53 Esfuerzo máximo.

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### c. Tensión equivalente (Von Mises).

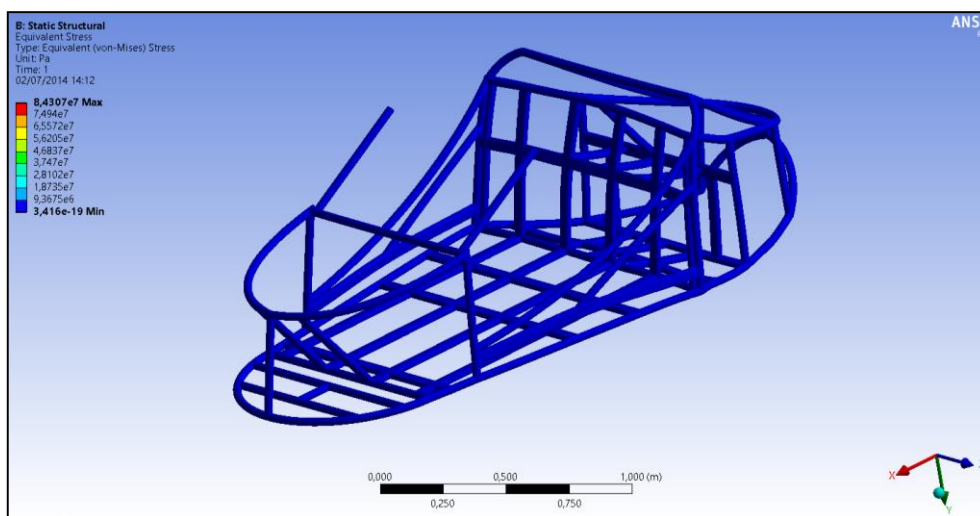
Con los datos obtenidos acerca de la tensión equivalente, se compara con el límite de fluencia del material.



Tabla 30 Tensión equivalente (Von Mises)

<b>Tensión equivalente</b>	<b>84.307 MPa</b>
<b>Máxima obtenida</b>	
<b>Límite de fluencia acero</b>	<b>250 MPa</b>
<b>ASTM A36</b>	

Realizado por: Cunalata W, Terán J.



Gráfica 54 Tensión equivalente (Von Mises).

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### d. Deformación direccional.

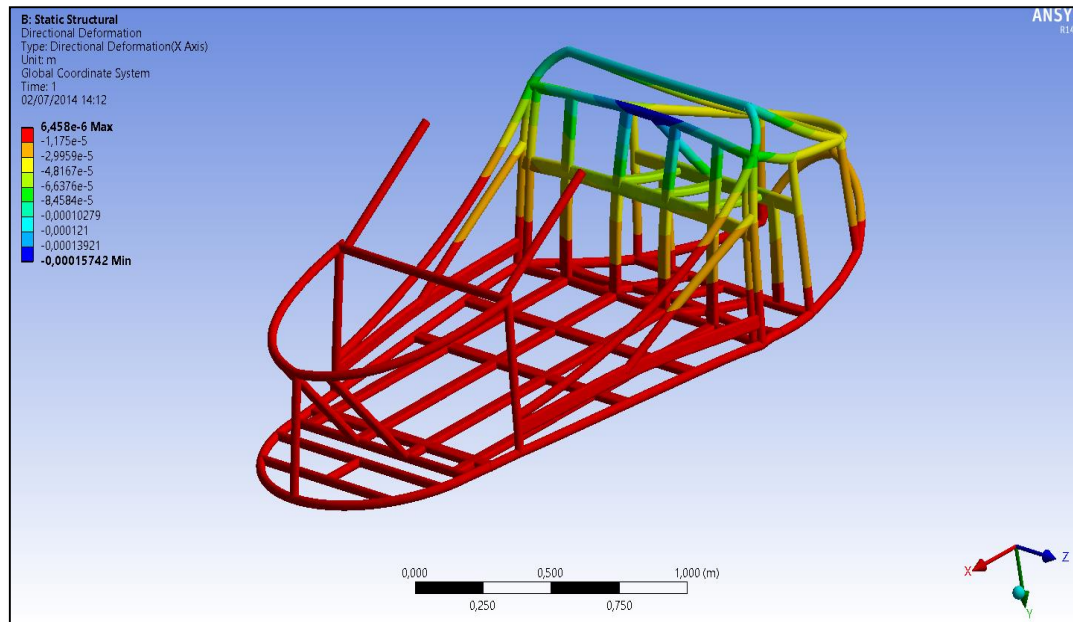
Como el eje X es el más propenso a sufrir una deformación, se ha requerido una deformación direccional en el mismo.

Tabla 31 Deformación direccional.

<b>Deformación direccional</b>	<b>6.458e-6 m</b>
<b>máxima</b>	
<b>Deformación direccional</b>	<b>-0.00015742 m</b>
<b>mínima</b>	

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

La máxima deformación direccional no representa una variación muy considerable.



Gráfica 55 Deformación direccional en X.  
 Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### e. Factor de seguridad.

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

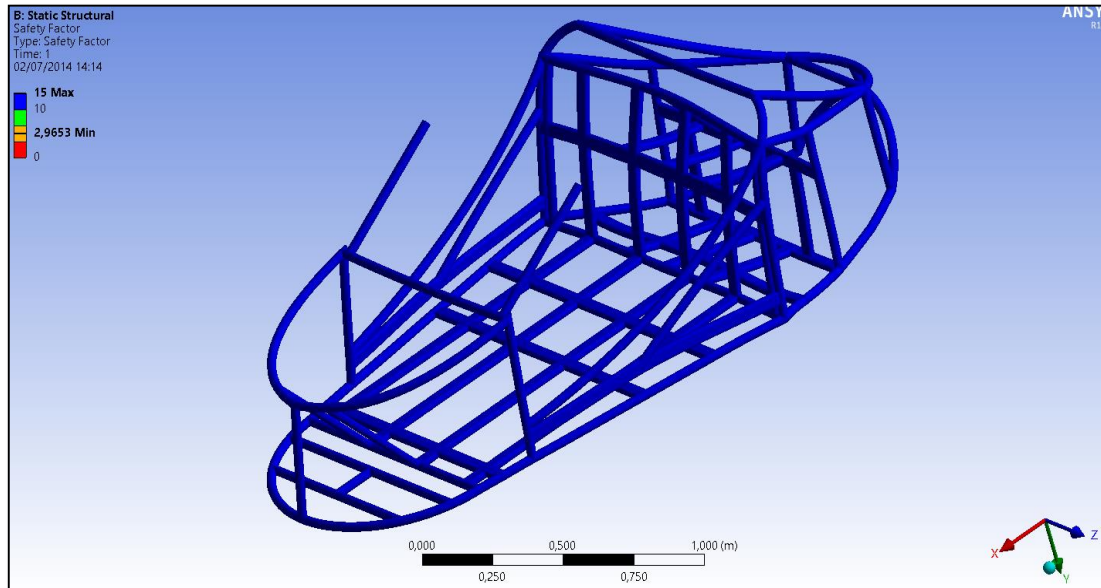
El factor de seguridad, indicará si el diseño es factible, “para las estructuras con materiales dúctiles donde se conocen sus propiedades y si la estructura se somete a un análisis estático, el factor de seguridad del diseño debe ser  $N=2$ ” (Mott, 2006). “De la misma forma si alguno de estos elementos es modificado de forma moderada, el factor de seguridad será  $N=3$ ” (Norton, 2011)

Tabla 32 Factor de seguridad.

<b>Factor de seguridad</b>	<b>2.9653</b>
<b>mínimo</b>	

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Según Mott y Norton, el valor de factor de seguridad indica que el diseño es muy seguro, ya que está en los rangos establecidos



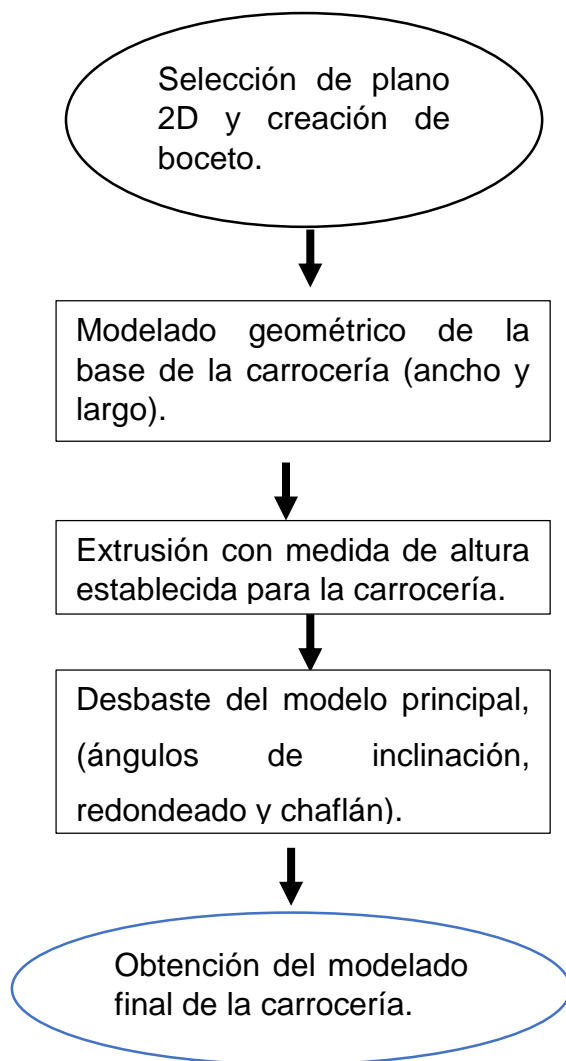
Gráfica 56 Factor de seguridad.  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### 4.4 Diseño de la carrocería.

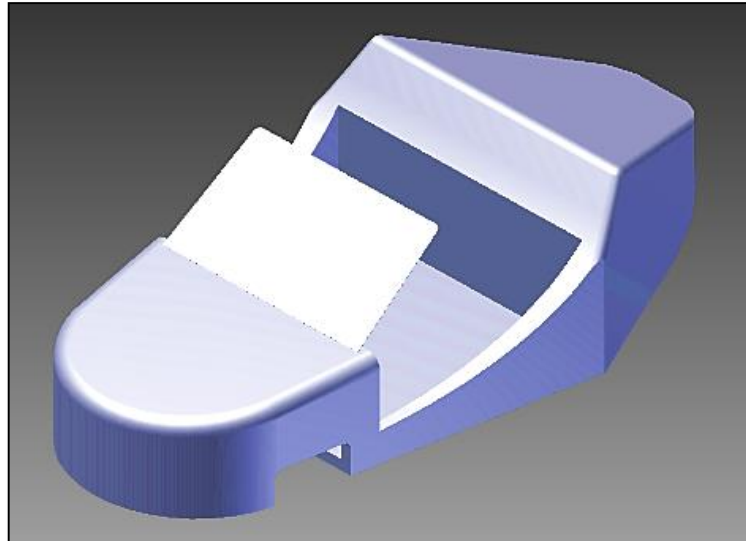
Ya teniendo una clara idea del uso de herramientas CAD y considerando cada uno de los parámetros para el diseño de la carrocería; se realizó el desarrollo del modelado similar al de la estructura del bastidor.

En el siguiente diagrama se detalla el proceso de modelado de la geometría de la carrocería.

#### 4.4.1 Diagrama de modelado de la carrocería.



En la imagen se observa el modelado de la carrocería para el vehículo eléctrico biplaza ya finalizado.



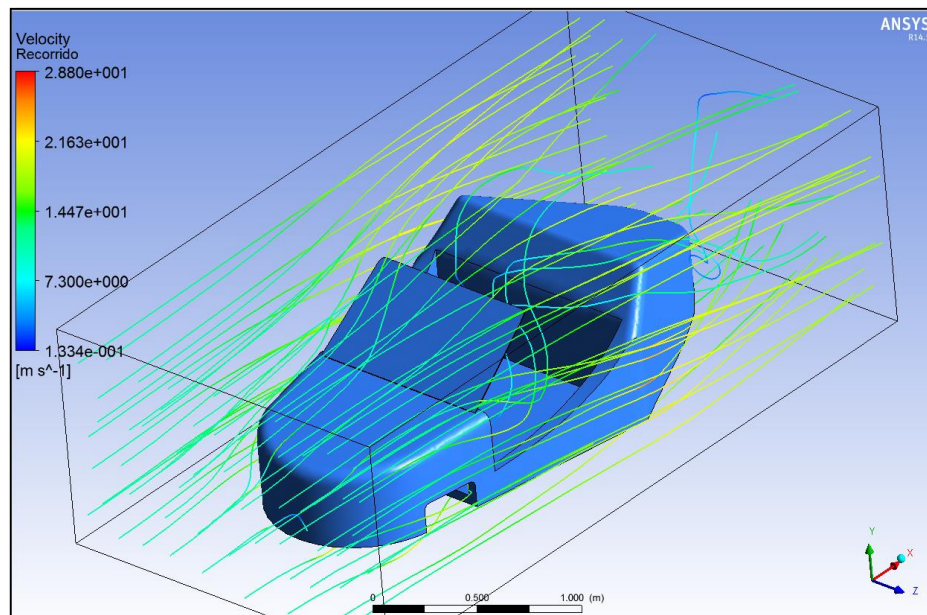
Gráfica 57 Carrocería finalizada CAD  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

En el **Anexo E**, se detalla el proceso de modelado de la carrocería en el software CAE.

#### 4.4.2 **Análisis aerodinámico de la carrocería.**

Se sabe que la aerodinámica en la carrocerías es uno de los factores más importantes ya que por medio de la misma se pueden perfeccionar muchos detalles antes de su construcción; La herramienta CAE permite realizar el análisis aerodinámico de la carrocería, ayudando a entender el comportamiento que ésta adoptará por su diseño y como favorecerá o afectará al desempeño del vehículo conforme a los parámetros establecidos.

En la imagen se muestra a la carrocería en el túnel de viento, expuesta al análisis aerodinámico, en el software CAE.

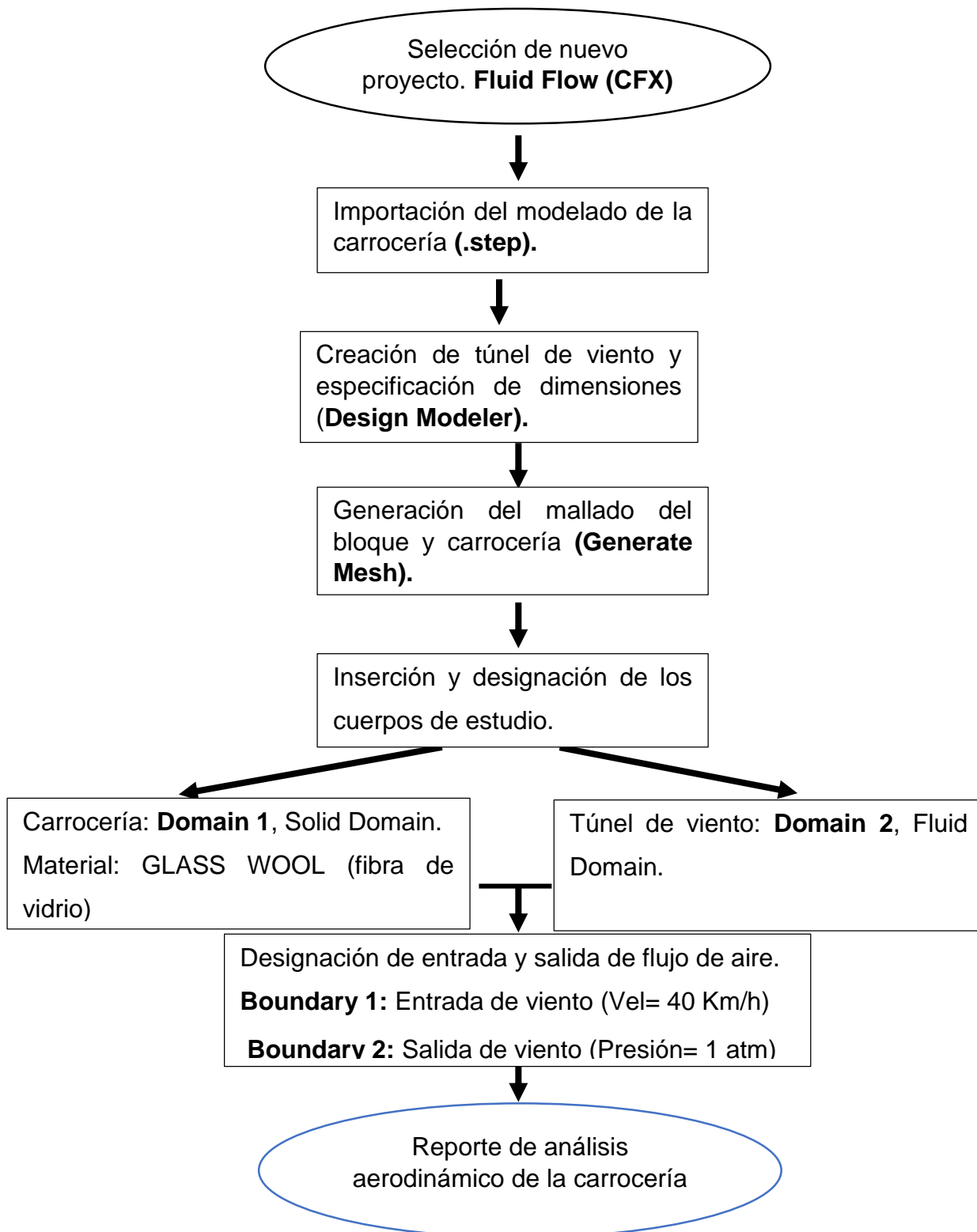


Gráfica 58 Análisis aerodinámico.  
Realizado por: Cunalata W, Terán J.

En el **Anexo F**, se detalla el proceso a seguir para la realización del análisis aerodinámico en el software CAE.

En el siguiente diagrama se detalla el análisis aerodinámico realizado en el modelo de la carrocería, en el software CAE.

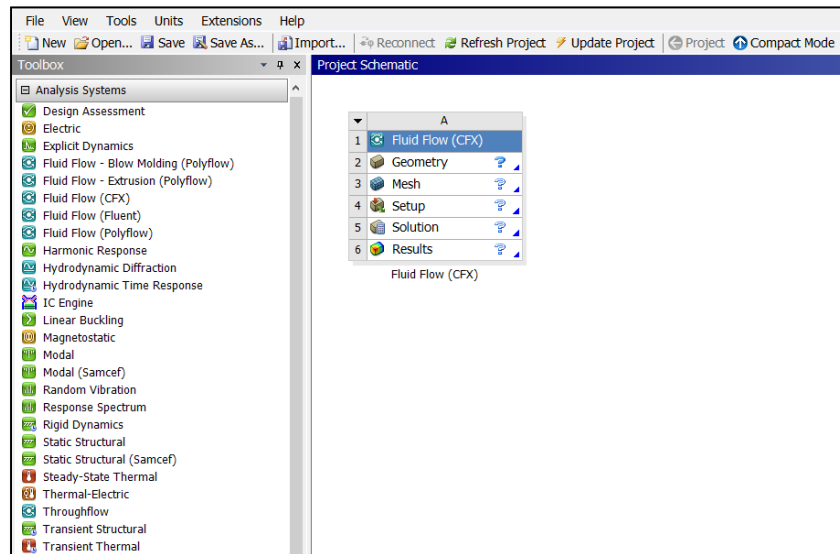
#### 4.4.3 Diagrama del análisis aerodinámico de la carrocería.



#### 4.4.4 Proceso de análisis aerodinámico de la carrocería en el software CAE.

La herramienta CAE, permite desarrollar una gran cantidad de análisis relacionados con la ingeniería; en el aspecto aerodinámico, posee algunas herramientas encargadas de realizar un estudio adecuado, minucioso y muy acercado a la exactitud.

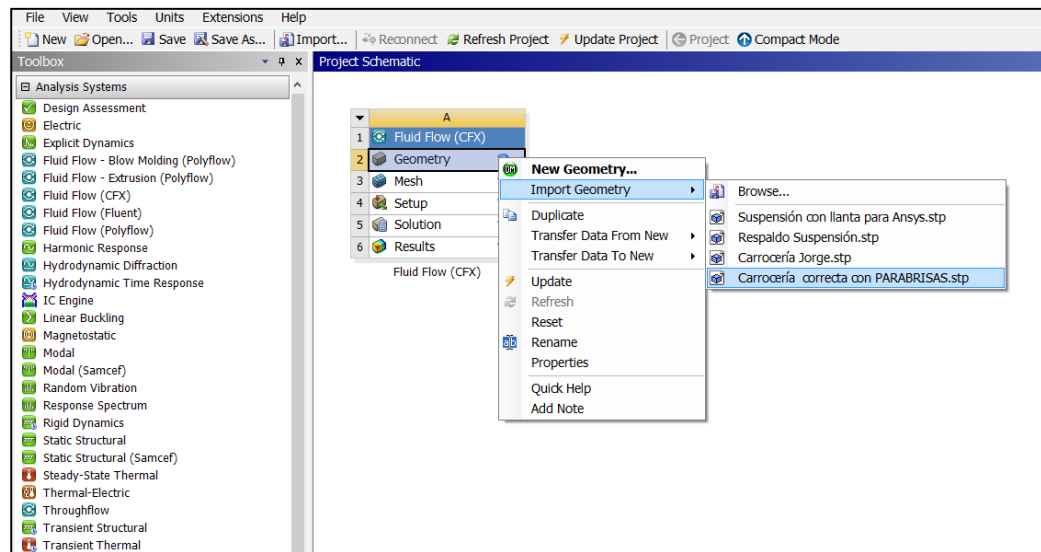
Para el proceso aerodinámico, en la página principal del software CAE, se deberá seleccionar en el panel **Toolbox**, la opción **Fluid Flow (CFX)** y arrastrarla hasta la ventana de procesos.



Gráfica 59 Selección de Fluid Flow.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

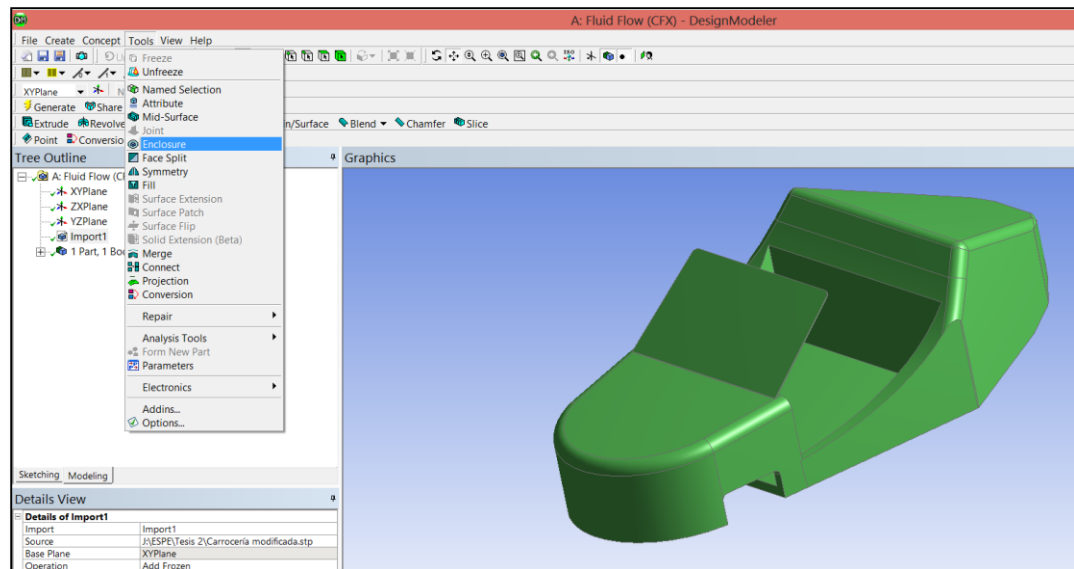
En la pestaña de **Geometry**, con click derecho se buscará e importará el archivo previamente realizado en Inventor Professional.





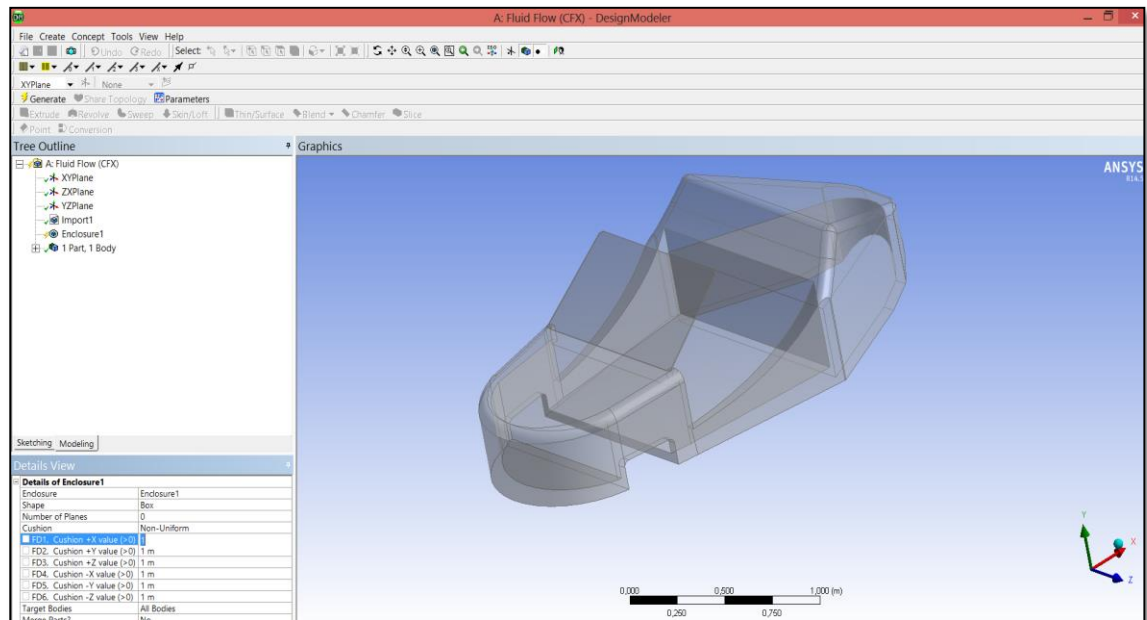
Gráfica 60 Importación de geometría.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Una vez cargado el documento, se edita la geometría, utilizando **Design Modeler**, lo que permitirá realizar el túnel de viento, para lo cual se debe seleccionar **Enclosure**, ubicado en la pestaña **Tools**.



Gráfica 61 Creación de túnel de viento.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

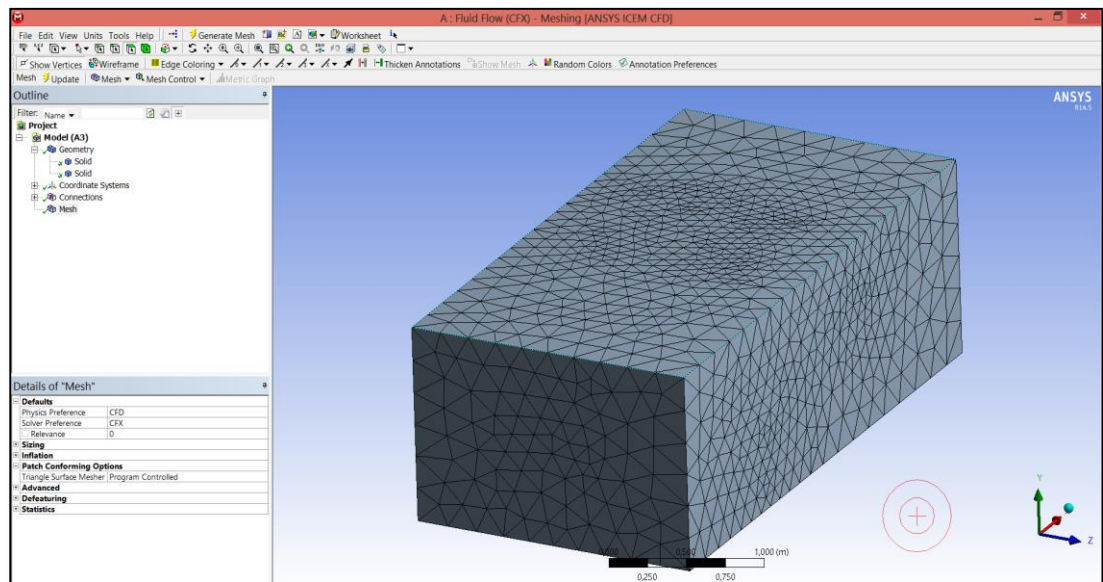
Posterior a esto se necesita especificar las medidas del túnel de viento, en los ejes x, y, z.



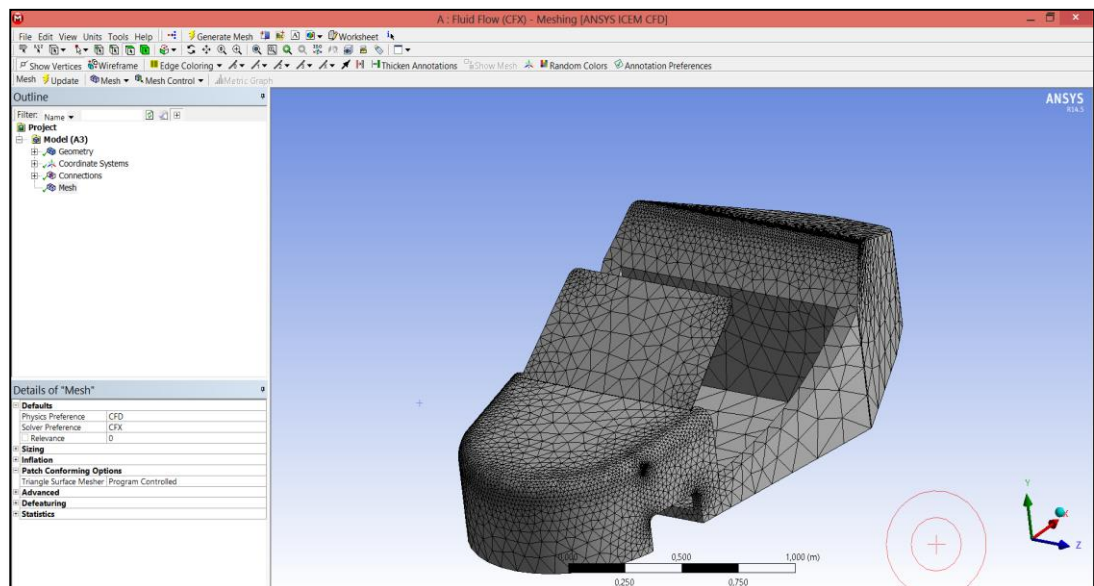
Gráfica 62 Selección de medidas del túnel.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Como ANSYS trabaja con un análisis de elementos finitos, es necesario realizar un mallado de los componentes.

Se cierra la ventana Design Modeler y se abre **Mesh**. Se selecciona **Generate Mesh** y el programa empieza a trabajar en un proceso que tardará dependiendo de las medidas, de la complejidad del dibujo y del procesador.

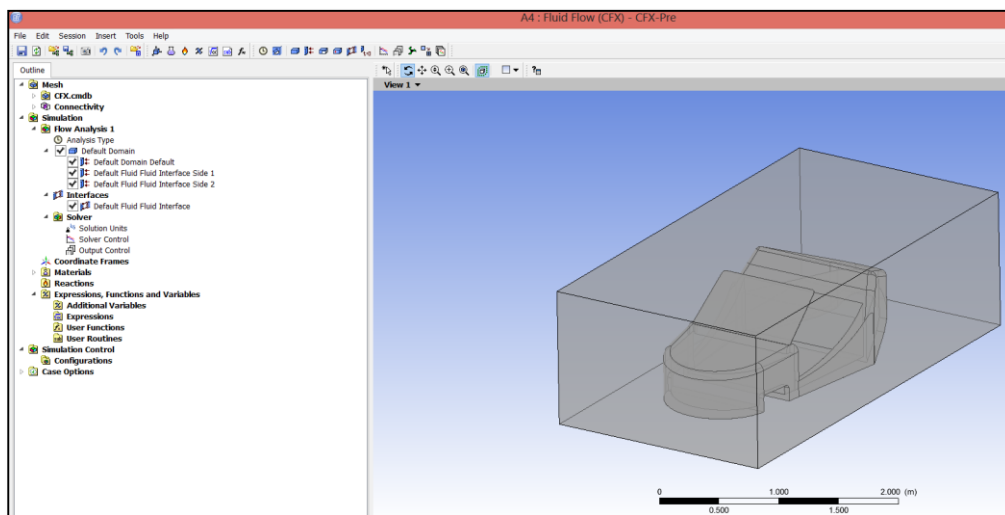


Gráfica 63 Mallado.  
Autores: Cunalata W, Terán J.



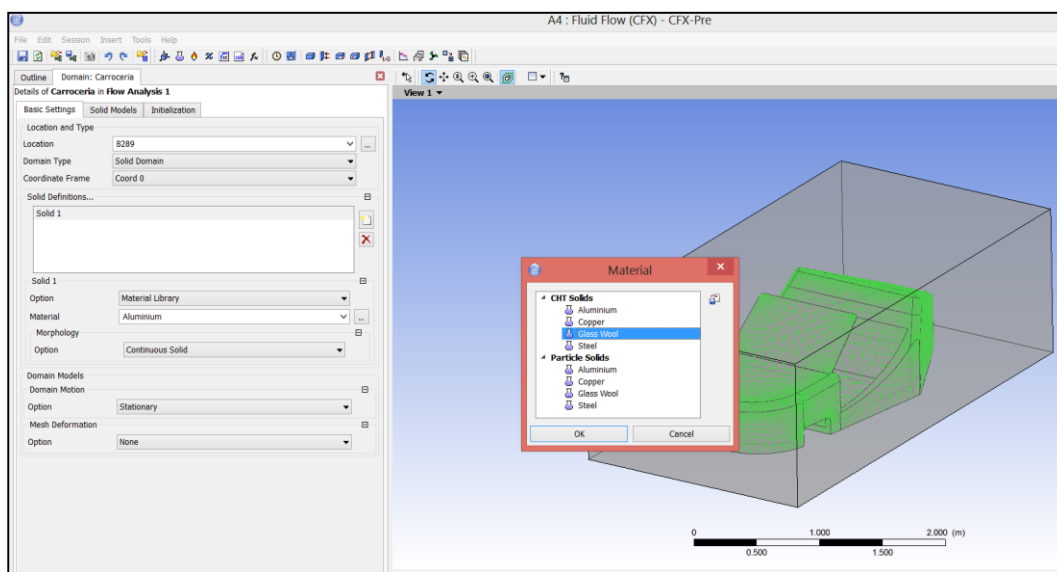
Gráfica 64 Mallado carrocería.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Previo al análisis, se necesitan definir algunos parámetros, para lo cual se abre **Setup**, lo que hará emerger una ventana denominada **CFX-Pre**.



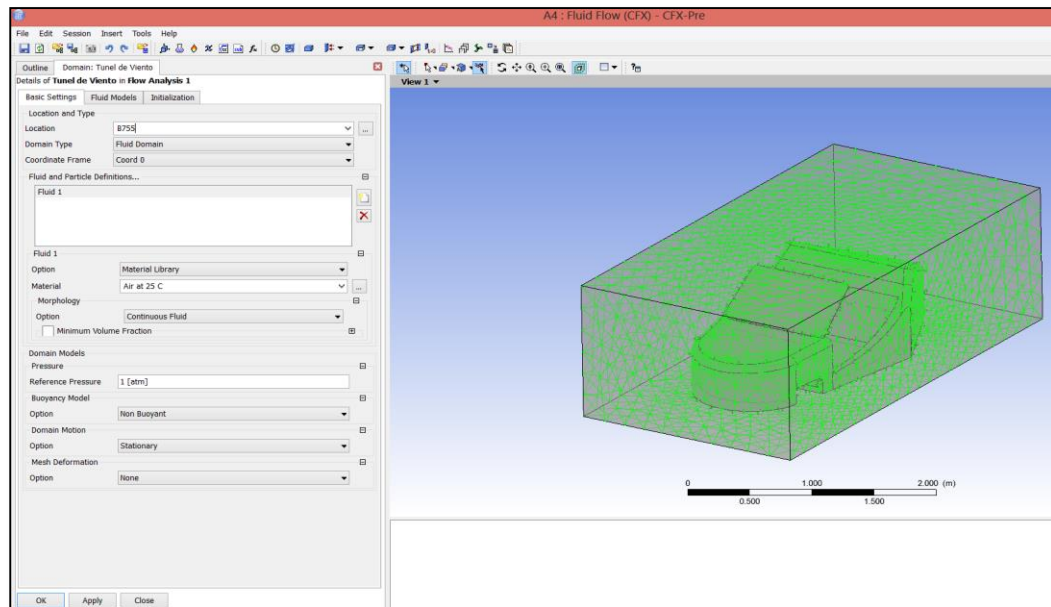
Gráfica 65 Selección de dominios.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Lo primero que se hace es insertar un **Domain 1**, el mismo que representará toda la carrocería del vehículo, al que se modificará el nombre por carrocería. En la ventana que se presenta, se elige el material, el cual por defecto se encuentra en aluminio, se deberá buscar **GLASS WOOL**, ya que tiene propiedades parecidas a las de la fibra de vidrio.



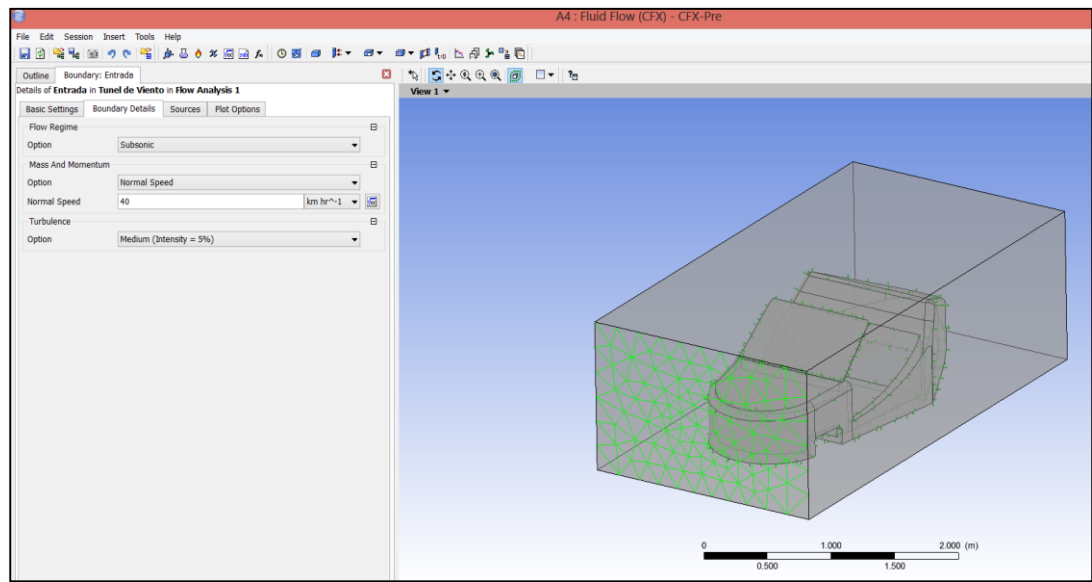
Gráfica 66 Selección del material.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Se inserta un **Domain 2**, el cual representará al túnel de viento, el mismo que se determinará como **Fluid Domain**, a diferencia de la carrocería que se eligió la característica de **Solid Domain**.



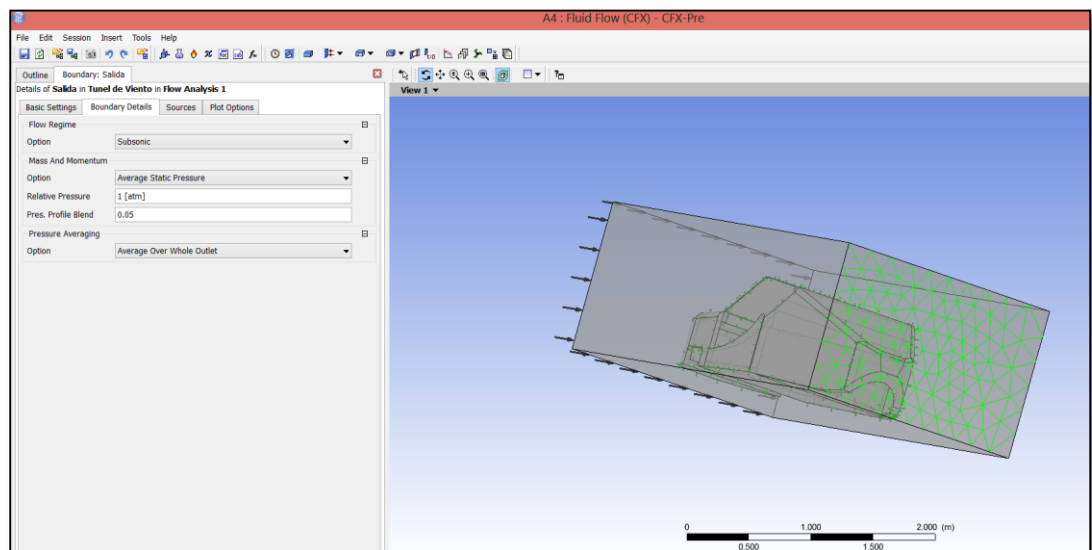
Gráfica 67 Dominio del túnel de viento.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Para determinar las características faltantes, se deberá insertar un **Boundary 1**, el cual representará a la pared de entrada de aire del túnel de viento. En las características, se debe especificar la velocidad del viento, para lo que se ha propuesto una velocidad ideal de 40 Km/h.



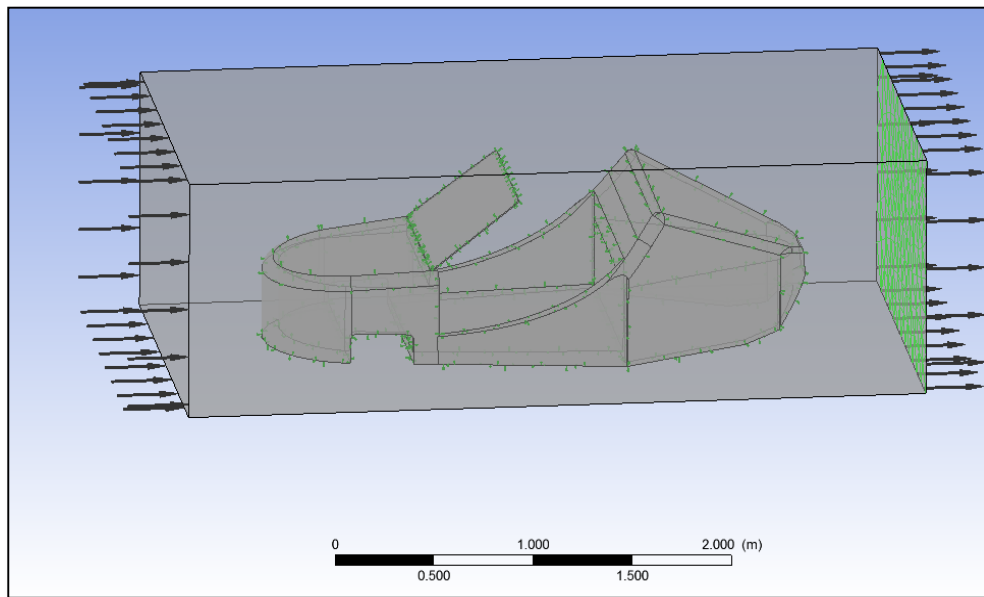
Gráfica 68 Selección de entrada de viento.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Posterior a eso se necesita insertar un **Boundary 2**, que representará la salida del viento, en las características se deberá poner una presión de 1 atmósfera saliente.



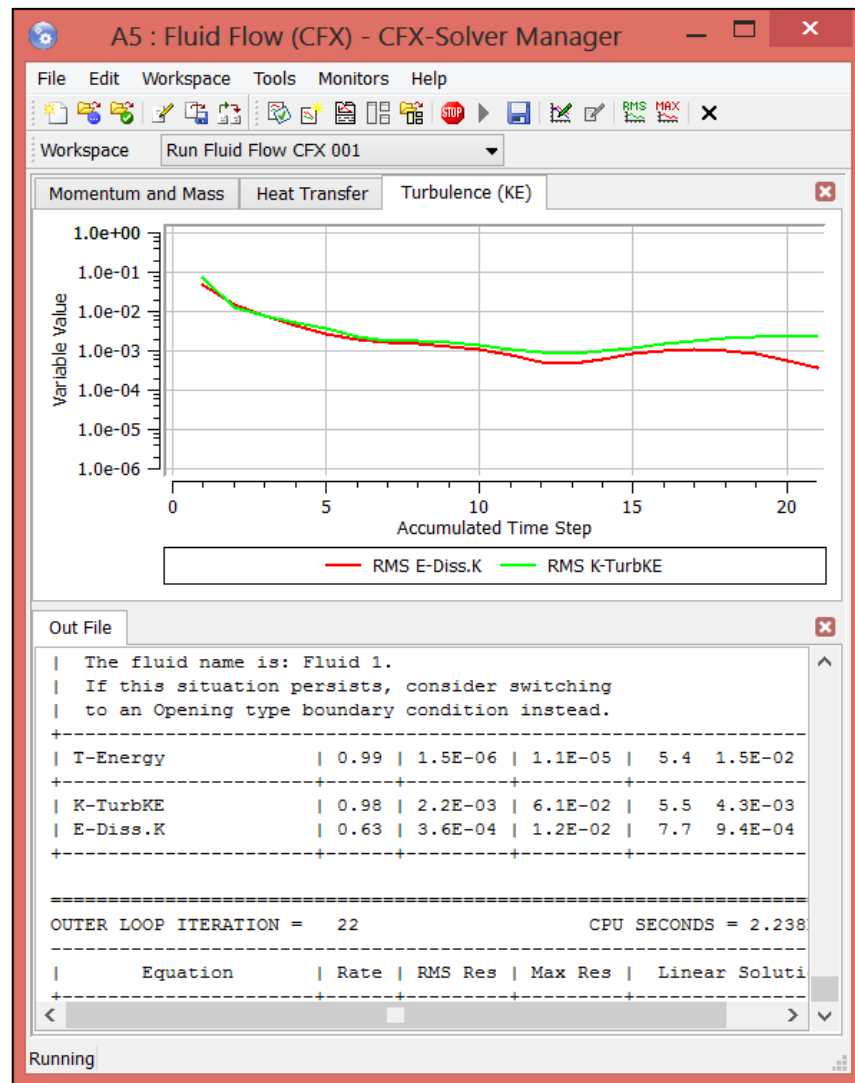
Gráfica 69 Selección de salida de viento.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

El resultado final se representará como el indicado en la figura.



Gráfica 70 Finalización del ingreso de variantes.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

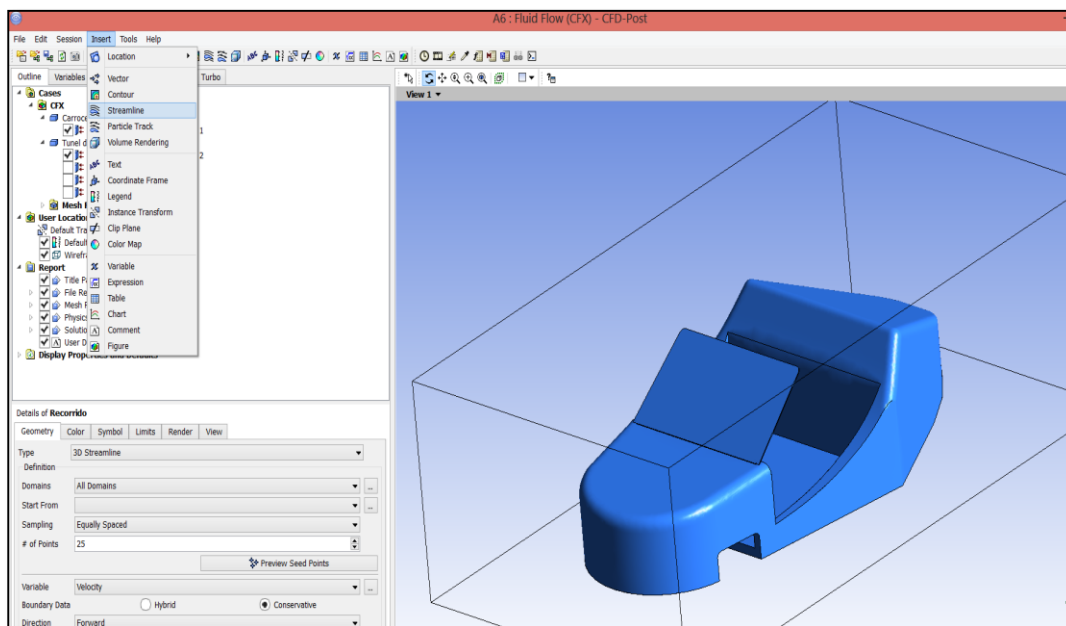
Ya terminada la introducción de los parámetros previos, se abre la pestaña **Solution**, donde aparecerá una ventana llamada **CFX-Solver Manager**, en la cual se tendrá que dar click en **Start Run**. En ese momento trabajará automáticamente la computadora



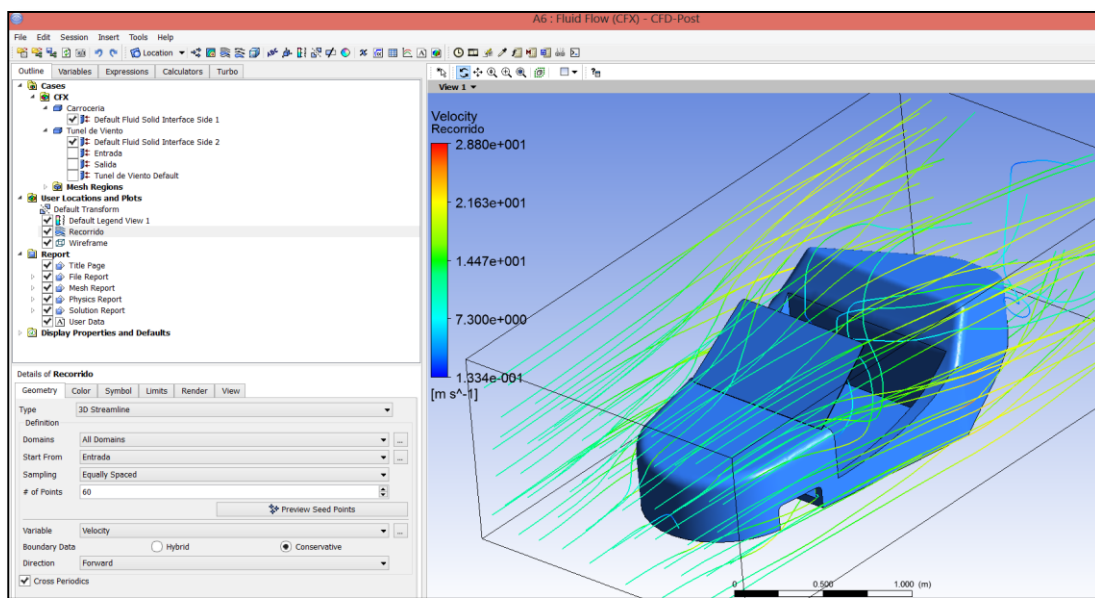
Gráfica 71 Proceso de análisis aerodinámico.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Finalmente, se abre la pestaña **Results**, donde se podrá obtener un reporte completo de todos los resultados. Para tener una presentación gráfica del recorrido que realiza el viento, se necesita insertar un **Streamline**.



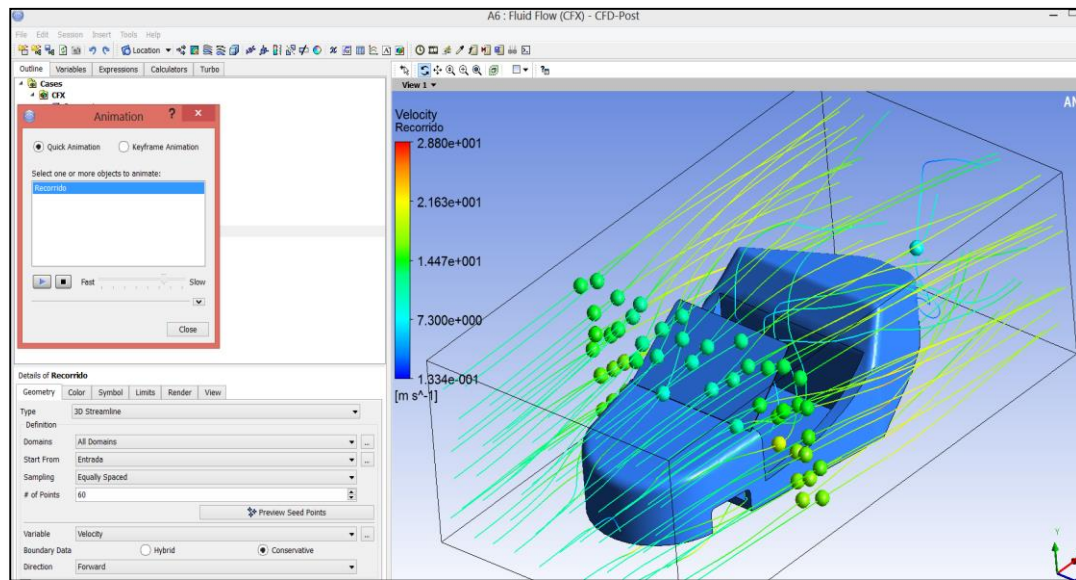


Gráfica 72 Selección de la herramienta Streamline.  
Autores: Cunalata W, Terán J.



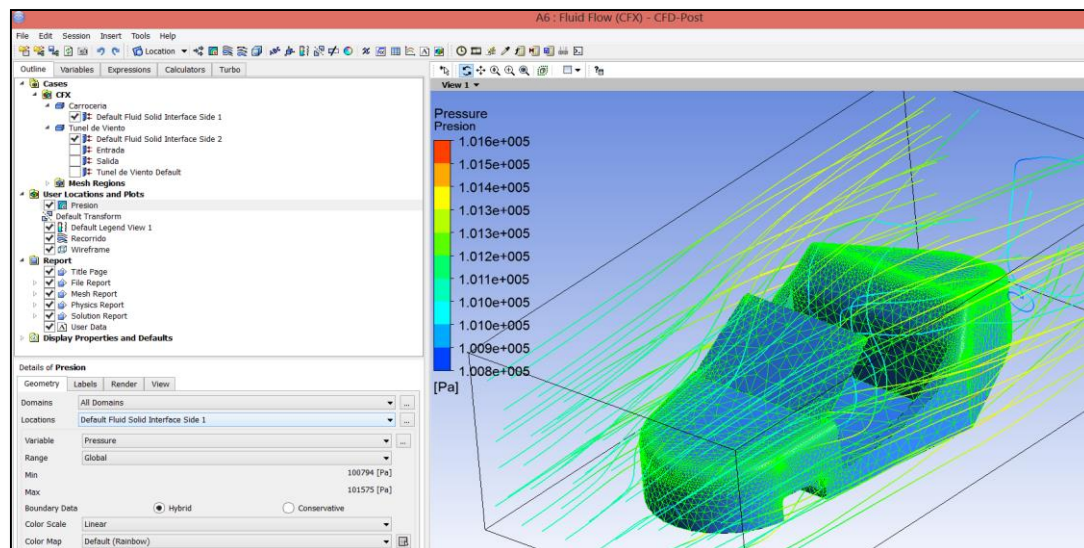
Gráfica 73 Recorrido del aire.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

En la sección de **Tools**, se puede obtener una animación de partículas de viento, acerca del recorrido del mismo



Gráfica 74 Movimiento de partículas de aire.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Para tener una idea de la presión que ejerce el viento sobre la carrocería, se elige la opción de **Contour**, ubicada en la pestaña **Insert**.



Gráfica 75 Visualización de la presión que ejerce el aire.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

#### 4.4.5 Análisis de resultados de la carrocería.

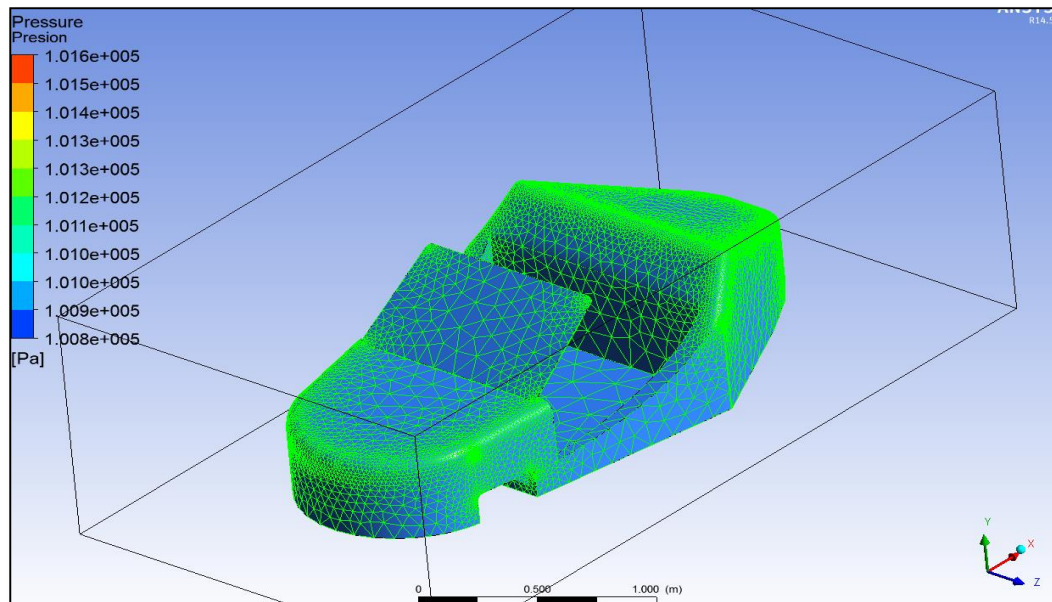
A la velocidad del viento de 40Km/h, y con la geometría que tiene la carrocería, se puede observar que existen las siguientes presiones:

Tabla 33 Análisis presión.

<b>Presión máxima</b>	<b>1.016e+005 Pa</b>
<b>Presión mínima</b>	<b>1.008e+005 Pa</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

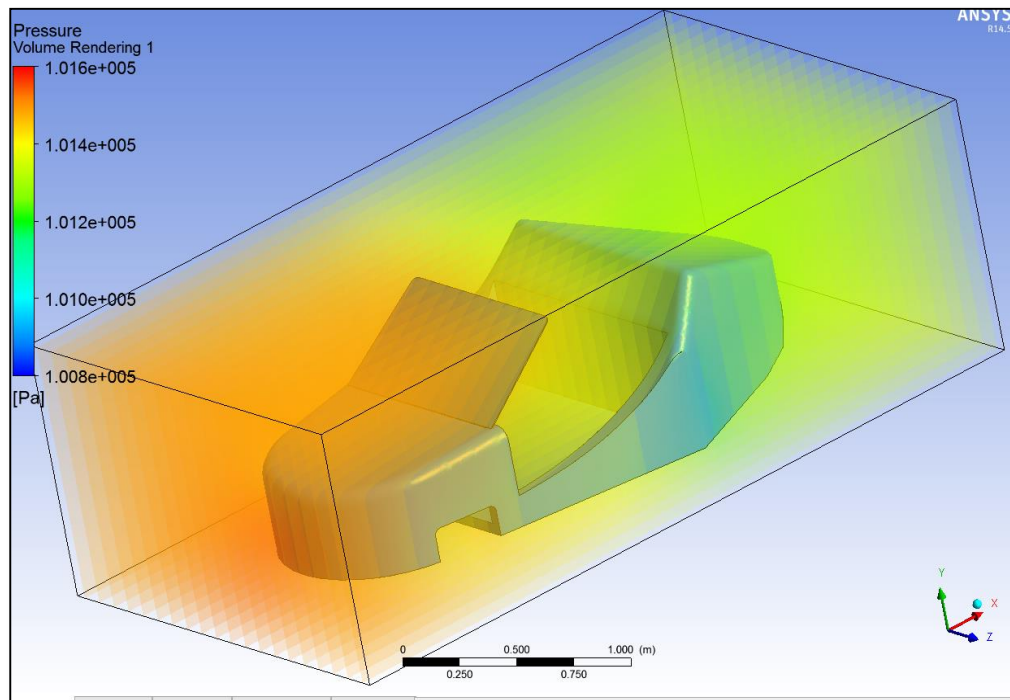
Transformando la presión máxima que proporciona el resultado del análisis, se obtiene una presión de 1.0027 atm, indicando que la carrocería no ejerce una oposición al movimiento del viento relevante.



Gráfica 76 Análisis de la presión del aire.

Autores: Cunalata W, Terán J.

Con la herramienta **Rendering**, se puede obtener un mapa de presión similar al que se muestra a continuación



Gráfica 77 Rendering  
Autores: Cunalata W, Terán J.

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

Tabla 34 Análisis velocidad aire.

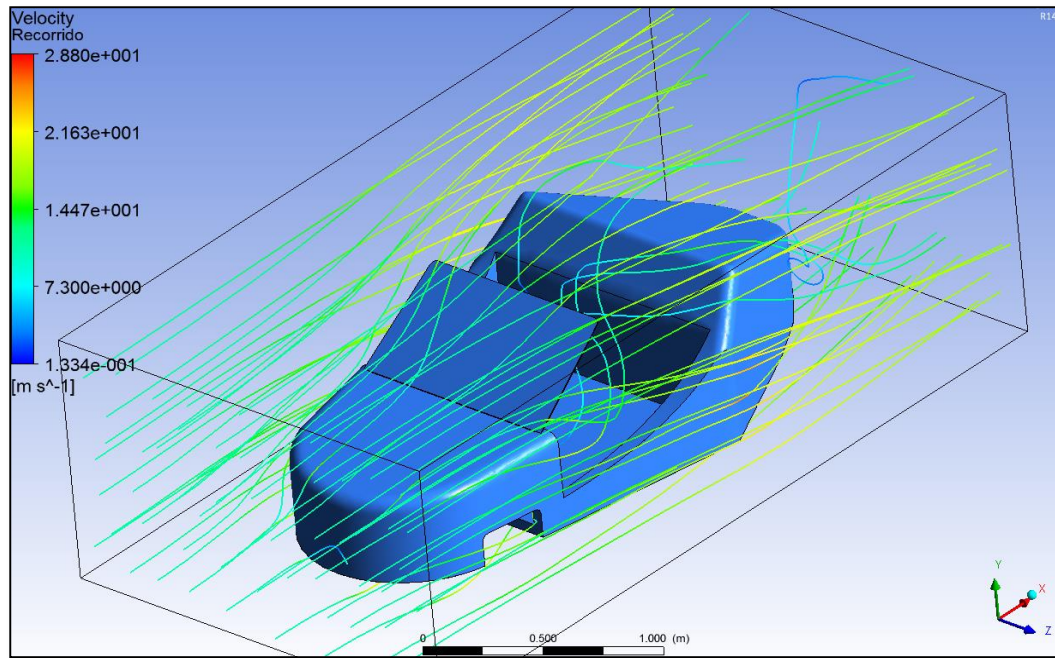
<b>Velocidad máxima</b>	<b>28.8 m/s</b>
<b>Velocidad mínima</b>	0.1334 m/s

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Transformando, el aire tiene una velocidad máxima de 103.68 Km/h, en los lugares más críticos, pero tiene una velocidad de 0.48 Km/h en las zonas con más resistencia. Si se observa la gráfica, se puede analizar que la velocidad en promedio del aire es de 20 m/s, lo que significa una velocidad promedio de 72



Km/h; en conclusión, el aire tiene un buen flujo y la carrocería es aerodinámica, ya que no presenta mucha oposición al movimiento.



Gráfica 78 Análisis de la velocidad máxima y mínima del aire.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

## CAPÍTULO V

### CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA.

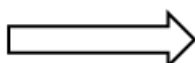
#### 5.1 Tecnología de la construcción, costos y mantenimiento.

La construcción del bastidor y de la carrocería para el vehículo biplaza, se realizó en las ciudades de Quito y Latacunga, en la siguiente tabla se especifican las máquinas y equipos utilizados para su construcción.

Tabla 35 Máquinas y equipos utilizados.

DESIGNACIÓN	MÁQUINA Y/O EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
M1	Cortadora de Plasma: Cutso	Tensión: 110/220 V Amperaje: 50 A Rango de corte: 1/8" a 12 "
M2	Soldadora Inverter Prowar	Tensión: 220 V Amperaje: 50 – 400 A
M3	Amoladora DeWalt Dc 411	Velocidad: 7200 r.p.m. Tensión: 120 V AC Amperaje: 20 A
M4	Torno Paralelo	Distancia entre puntos: 2500 mm Altura de puntos: 300 mm Volteo sobre el carro: 300 mm Velocidad: 30- 1200 r.p.m. Potencia: 20 Kw.
		Tensión: 120 V Amperaje: 2.5 A Velocidad: 3500 r.p.m.

Continúa



<b>M5</b>	Esmeril	Potencia: 3/4 hp Diámetro rueda: 7.5” Diámetro eje: 5/8”.
<b>M6</b>	Taladro Bosch Gbh 2-20d	Tensión: 110V Potencia: 550 W Velocidad: 0-3000 r.p.m. Amperaje: 10A
<b>M7</b>	Taladro de Pedestal Morgon Drill Press	Velocidad: 220 – 2120 r.p.m. Potencia: ½ hp Giro de la mesa: 180° Avance vertical mesa: 700 mm
<b>M8</b>	Dobladora de Tubos Black off 90	
<b>M9</b>	Taladro Neumático	
<b>M10</b>	Sistema de Corte Oxi- acetileno	

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

Entre las herramientas y accesorios se han empleado los enunciados en la siguiente tabla:

Tabla 36 Herramientas utilizadas.

DESIGNACIÓN	HERRAMIENTA Y/ O ACCESORIO
H1	Sierra de mano
H2	Brocas
H4	Flexómetros
H5	Juego de Llaves de corona
H6	Nivel
H7	Calibradores pie de rey
H8	Compás
H9	Martillos
H10	Llaves de boca
H11	Limas: cuadrada, redonda, media caña
H12	Machuelos
H13	Entenalla
H14	Cinzel
H15	Escuadras
H16	Cepillo de metal

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 5.1.1 Operaciones tecnológicas.

Son las diferentes actividades encaminadas a la obtención de un elemento determinado, ya sea del bastidor, como de la carrocería, que posteriormente, conformarán al vehículo eléctrico biplaza.

En la siguiente tabla se identifican todas las operaciones tecnológicas que se han realizado, con su respectiva identificación.



Tabla 37 Operaciones Tecnológicas realizadas.






Nº DE OPERACIÓN	OPERACIONES
1	Medición y trazado
2	Corte del material: por oxicorte, plasma o sierra
3	Desbastado de excedentes: cincel, amoladora o lima
4	Esmerilado
5	Doblado
6	Nivelado
7	Unión de partes: por suelda
8	Taladrado
9	Torneado
10	Rectificado
11	Montaje
12	Moldeado
13	Obtención de matriz
14	Fundido
15	Separación Molde
16	Lijado
17	Masillado

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

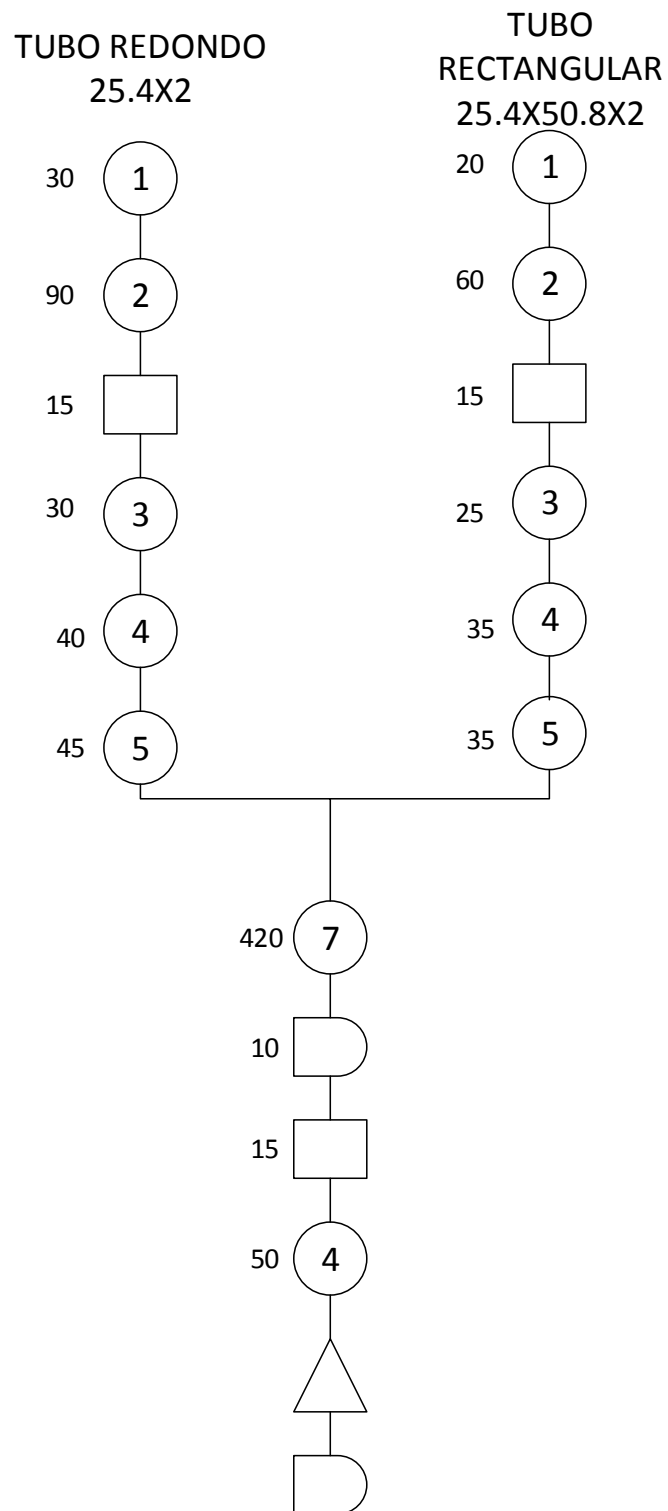
### 5.1.2 Diagramas de la construcción de la estructura del bastidor.

En el siguiente flujograma se presentan las operaciones tecnológicas que se emplean en todas las etapas de construcción tanto del bastidor como de la carrocería del vehículo. Las operaciones de construcción no tienen un orden de seguimiento estricto, se ejecutan conforme la necesidad de avance de la construcción y según los planos de la máquina que se adjuntan. El tiempo empleado en cada operación se indica a la izquierda de la operación y se lo

señala en minutos. Para mejor comprensión del flujograma se emplea la siguiente nomenclatura:

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
	Operación tecnológica.
	Inspección.
	Traslado o transporte.
	Almacenamiento.
	Espera.

**a. Desarrollo del piso del bastidor.**  
Los valores están medidos en minutos

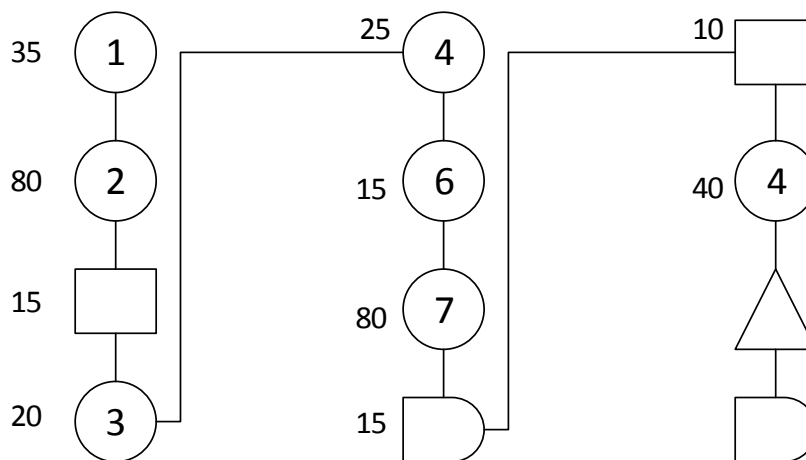


**b. Desarrollo de los parantes base.**

Los valores están medidos en minutos

**TUBO REDONDO**

25.4X2

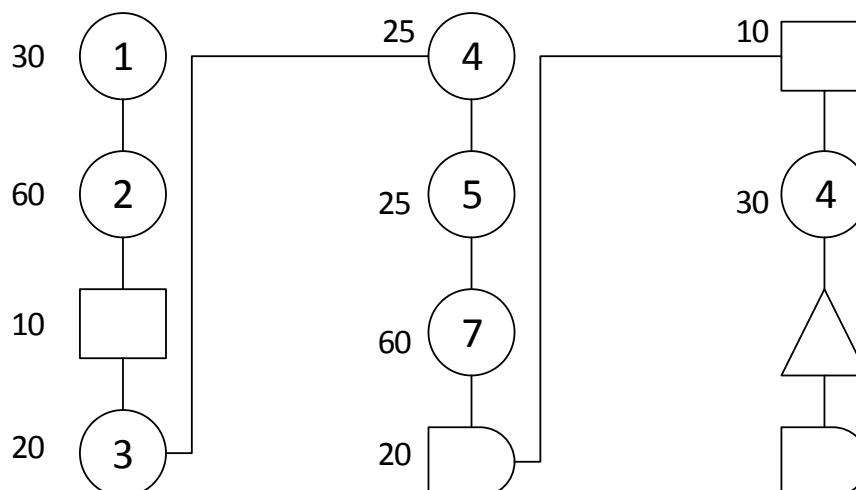


**c. Desarrollo de los soportes para la carrocería.**

Los valores están medidos en minutos

**TUBO REDONDO**

25.4X2

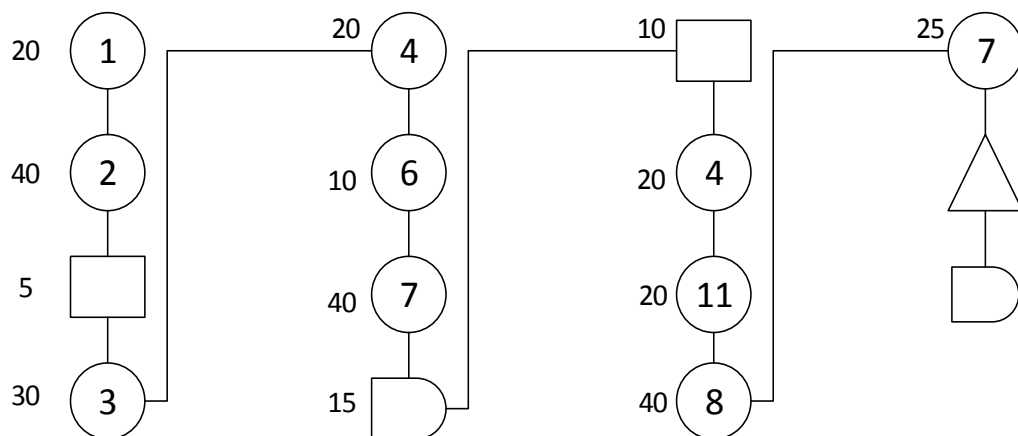


**d. Desarrollo de la base para el tren motriz.**

Los valores están medidos en minutos

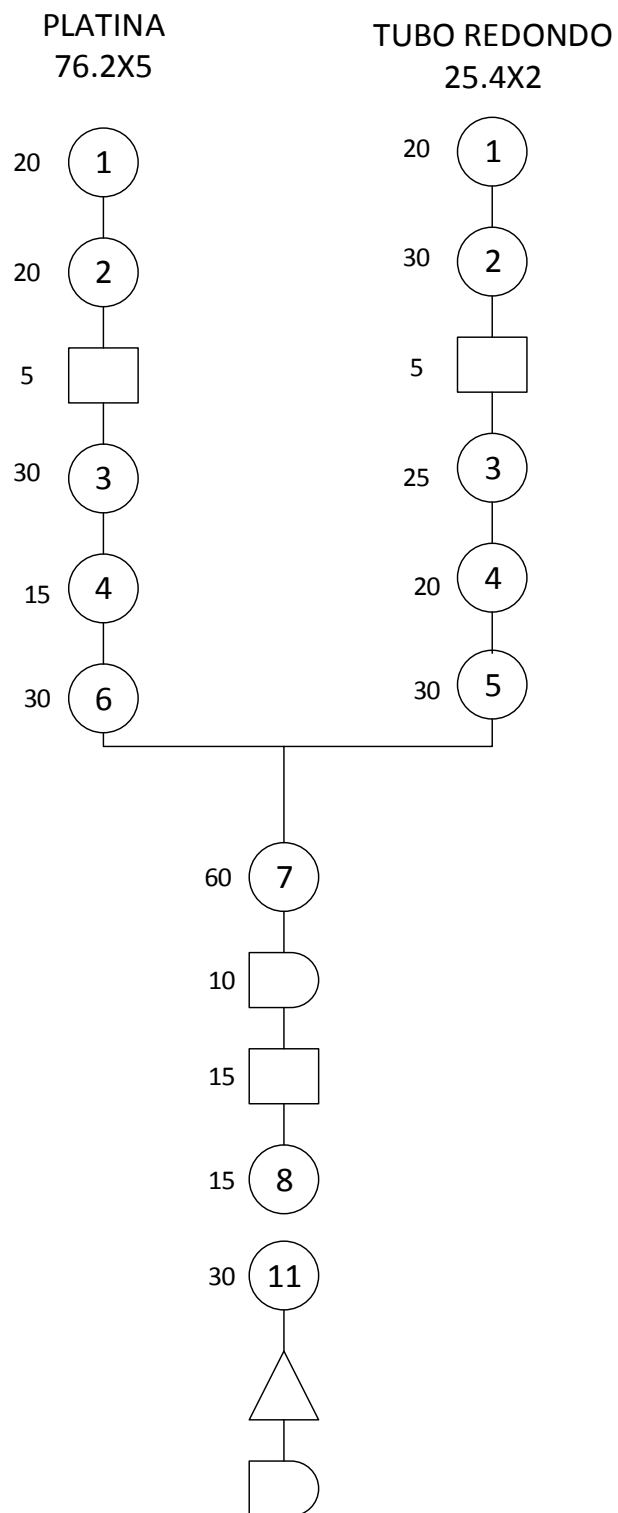
TUBO RECTANGULAR

25.4X50.8X2



**e. Desarrollo de las mesas.**

Los valores están medidos en minutos

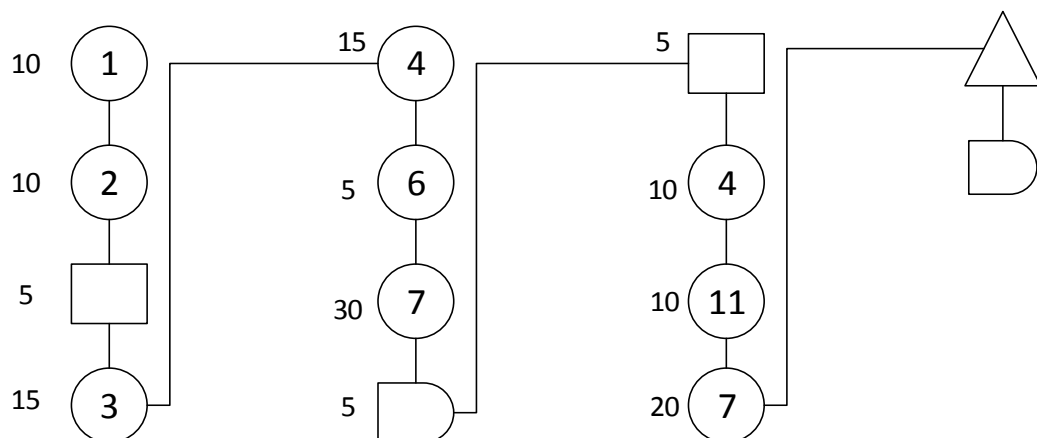


**f. Desarrollo de la base para el parabrisas.**

Los valores están medidos en minutos

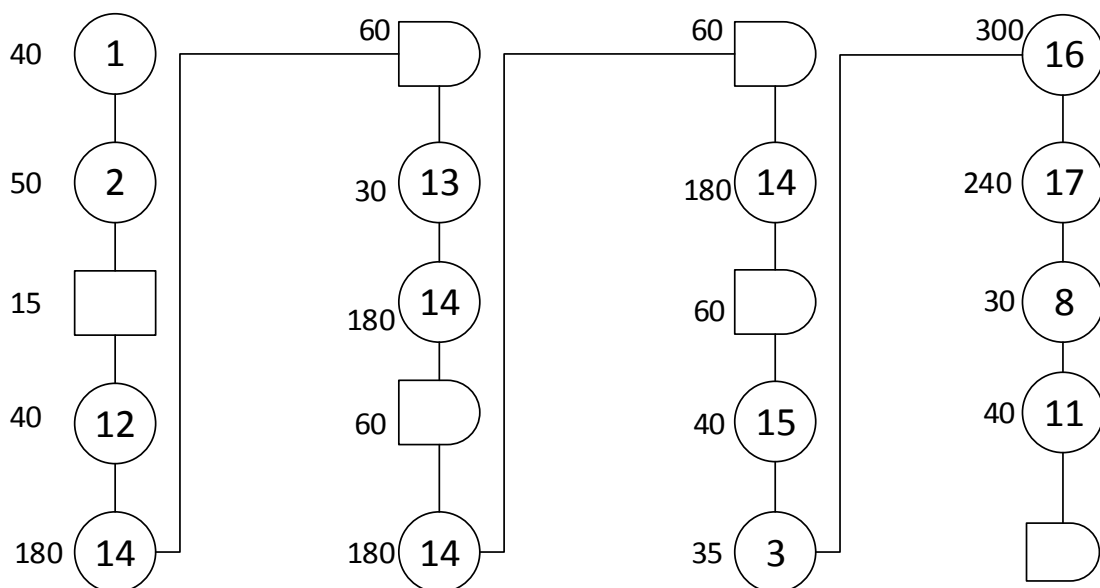
**TUBO RECTANGULAR**

25.4X50.8X2



**g. Desarrollo de la carrocería.**

Los valores están medidos en minutos



## 5.2 Construcción del bastidor.

Concluida la definición de la geometría del diseño, el análisis y su simulación, se han obtenido buenos resultados, valorando así su viabilidad para la construcción de un bastidor tipo tubular. A continuación se detalla paso a paso el proceso del mismo.

### 5.2.1 Adquisición del material.

La estructura principal del vehículo eléctrico consta de tubo estructural ASTM A36, este material cumple con las características requeridas.

El catálogo en línea de la marca **Novacero** existen tuberías estructurales de acero ASTM A36, y por su fácil disponibilidad en el mercado ecuatoriano se adquirió este material.

Tubería estructural: Tubo redondo ASTM A36 (25,4x2) mm.

Tubo rectangular ASTM A36 (50x 25,4x2) mm.

### 5.2.2 Marcado e inspección del material.

Los perfiles tubulares redondos y rectangulares que serán utilizados para la construcción del bastidor, son marcados con exactitud, previo a su corte con cada una de las medidas basadas en los planos del diseño ya establecido.





Gráfica 79 Marcado e inspección del material.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Es importante realizar una inspección del marcado, de esta manera se evitará equivocaciones en las medidas y pérdida de material, ya que esto implicaría gastos adicionales.



Gráfica 80 Medición.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### 5.2.3 Corte de los elementos.

Una vez marcado y verificado todas las medidas se procede a cortar cada uno de los tubos que formarán parte de la estructura, es importante tener en cuenta el orden y la secuencia de las partes que conformarán el bastidor para que al momento de su montaje no haya equivocación alguna.

Para el proceso de corte debido al menor coste y a su mayor sencillez de ejecución se trabajó con el corte por aserrado manual de arco. En el caso de la unión directa entre perfiles circulares se necesita un corte de perfil, donde se empleó también el procedimiento del aserrado.



Gráfica 81 Corte con sierra de arco.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

También es posible efectuar una doble operación de corte con una amoladora, en este caso hay que procurar evitar la torcedura del material, sin embargo las rebabas que deja este son grandes; para el caso, se necesita la implementación de todas las normas de seguridad.



Gráfica 82 Corte con amoladora.  
Autores: Cunalata W, Terán J.



Gráfica 83 Desbastado con amoladora.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

#### 5.2.4 Inspección de los cortes y desbaste.

Una vez realizado el proceso de corte del material necesariamente hay que limpiar las rebabas que deja, para que no haya algún inconveniente al momento de montar y soldar la estructura. Este proceso se realizó con la ayuda de un esmeril, el cual facilita de gran manera el acoplamiento entre los demás tubos.



Gráfica 84 Uso de esmeril.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### 5.2.5 Curvado de elementos.

Para la realización de las curvaturas en los tubos como está previsto en el diseño, existe varios métodos; de todos ellos se adoptó el método de curvado en frío por dobladora manual, ya que es una máquina sencilla de utilizar, precisa y potente capaz de curvar tubos de diferentes diámetros con radio constante, muy óptimo que no deforma los tubos al trabajarlos y resulta económico en comparación con otros métodos.



Gráfica 85 Dobladora de tubos manual.  
Fuente: (Segovia, 2012)

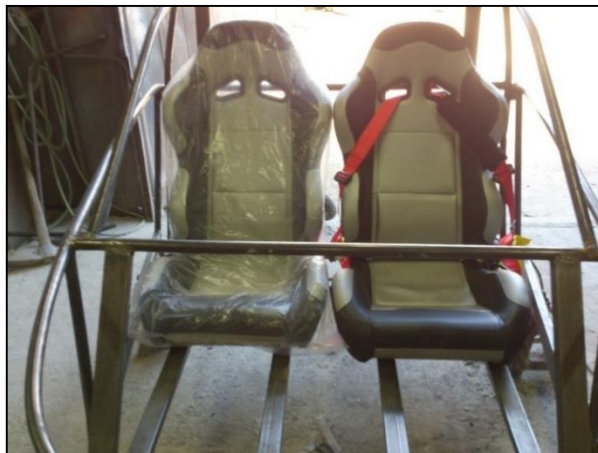
También el método de curvado en caliente es válido, utilizándolo de manera correcta y teniendo en cuenta el ángulo deseado, resulta un buen trabajo con una precisión aceptable.

#### 5.2.6 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, de esta manera facilitar la construcción de la estructura.

##### a. Base Principal.

La base principal está construida de acero ASTM A36 (25.4 X 2 mm); se dobló el tubo redondo de 6 m de longitud a la mitad, adquiriendo una curva semiesférica con un radio de 0,475 m. Los dos miembros del arco se abren rectilíneamente una distancia de 1,20 m, con un ángulo de 9° y se cierran en la unión, a una distancia de 0,830 m y un ángulo de 26°. Cuatro tubos rectangulares ASTM A36 (50,8 x 25,4 x 2) mm de 1,20 m se extienden a lo largo de la base, separados 0,25 m uno de otro, actuando como largueros protectores de la base, en ellos se asentarán los asientos.



Gráfica 86 Comprobación de espacios para los asientos.  
Autores: Cunalata W, Terán J.



Los refuerzos de la base también están contruidos de tubo rectangular, se encuentran en la parte exterior y céntrica de la base, éstos van diagonal a los largueros, separados 0.35 m uno del otro paralelamente.



Gráfica 87 Eliminación de rebabas.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Se instaló a la base principal tres tubos redondos ASTM A36 (25.4 X 2 mm); el cual están ubicados en la parte delantera de la base, precisamente en la curva semiesférica, éstos se encuentran paralelos uno de otro con las medidas de 0,980 m, 0,90m y 0,720 m, van separados a una distancia de 0,165 m respectivamente.



Gráfica 88 Preparación del material.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

**b. Parante frontal**

El parante frontal está constituido de un tubo redondo ASTM A36, el cual se prolonga desde la parte más baja del centro delantero de la base curvilínea, con una altura de 420 mm y un ángulo de  $76^\circ$ , como se puede ver en la imagen.



Gráfica 89 Parante frontal  
Autores: Cunalata W, Terán J.

**c. Arcos de seguridad principal y frontal.**

El arco principal de seguridad así como el frontal, son de la misma sección del parante, estos están diseñados para proteger al conductor de un impacto frontal como posterior.

Se prolonga desde la parte baja de un lado del bastidor hasta el otro, con una longitud de 1.6 m, hay que considerar que los dos miembros verticales deben ser de igual medida y mismo ángulo de inclinación así como de los arcos. Este tiene una inclinación de  $32^\circ$  con respecto a la vertical y una altura de 0,616 m, los arcos se cierran con un ángulo de  $98^\circ$  con respecto a la horizontal.

Para acoplar exactamente el arco principal con los tubos de la base del bastidor, es necesario realizar un biselado de radio de  $7^\circ$  en el tubo.



Gráfica 90 Arcos de seguridad.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

#### d. El arco frontal

Está construido de un solo tubo de acero de las mismas características dimensionales que el arco principal.

El arco adquiere una curvatura en la parte superior, con un radio de arco de 700 mm, y una distancia de 970 mm rectilíneamente, éste se une a la estructura con los tirantes del arco frontal.



Gráfica 91 Arco frontal  
Autores: Cunalata W, Terán J.



### e. Tirantes del arco frontal.

Los tirantes del arco frontal son de acero ASTM A36 (25.4 mm X 2 mm). Se cortó dos tubos de 510 mm cada uno , con un ángulo de inclinación de  $16^\circ$  con respecto a la vertical, para que no altere las dimensiones iniciales se utiliza un bisel de  $9^\circ$  y poder ser soldado al arco frontal y base del bastidor. El objetivo de los tirantes es protegen las piernas del conductor, por lo que se encuentran en ambos lados.



Gráfica 92 Tirantes del arco frontal.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Se instaló junto al arco principal dos tirantes de 616 mm y mismo ángulo de inclinación del arco principal, con el fin de reforzar la estructura.



Gráfica 93 Colocación de refuerzos.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

#### **f. Tirantes del arco principal.**

El arco principal está reforzado con dos tirantes hacia atrás, éstos son de acero estructural ASTM A36 (25.4 mm X 2 mm).

Se cortaron dos tubos simétricos de 870 mm cada uno, los tirantes están soldados en la parte más alta del arco principal para ello se utilizó un bisel de 39°. Se fijaron unos parantes de tubo rectangular a 400 mm del arco principal con respecto a la vertical, donde se asentaron los tirantes para una mejor distribución de esfuerzos.



Gráfica 94 Tirantes traseros.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### **g. Protección de impactos laterales.**

La protección lateral está formada por tres tubos estructurales acero ASTM A36, rectangular y redondo por cada lado simétricamente.

El tubo rectangular inferior de la protección lateral es el más largo, mide 1100 mm de longitud, éste se une al arco principal con el arco frontal y se encuentra paralelo a la base principal, a 80 mm con respecto a la vertical, el segundo tubo también es rectangular y va a actuar también como refuerzo lateral, éste va ubicado a 600 mm del tubo inferior, teniendo en cuenta desde el arco principal, mide 730 mm de longitud, con un ángulo de inclinación de  $28^\circ$ , para la instalación del tubo rectangular es necesario realizar un bisel del mismo ángulo, con el fin de que la unión entre éstos sean perfectos y facilitar la soldadura.

El tercer tubo es redondo, éste mide 1300 mm de longitud y adquiere una curva semiesférica, con radio de curvatura de 950 mm donde va soldado entre la parte superior del arco principal y cierra a 40 mm del tubo inferior rectangular, como se puede ver en la imagen.



Gráfica 95 Protección lateral.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

#### **h. Protección de los pies.**

La estructura de protección de los pies, está construida con tubos rectangulares, acero ASTM A36, está diseñada de tal forma que los pies del piloto, queden protegidos sin presionar los pedales. La protección consta de dos tirantes externos y dos tirantes internos.

Para los tirantes externos se cortaron tubos rectangulares de 510 mm y para los internos, tubos de 670 mm, considerando 25 mm adicionales para el bisel que necesariamente hay que tener en cuenta, con el fin de obtener una perfecta unión y soldadura, los tirantes externos se encuentran ubicados a 440 mm del centro del arco de la base principal y se apoya en el arco frontal con un ángulo de inclinación de  $55^\circ$  con respecto a la horizontal, separados uno de otro con una distancia de 720 mm; los tirantes internos se asientan a la misma distancia de los externos y van apoyados en el arco superior curvilíneo a un ángulo de inclinación de  $125^\circ$  con respecto a la horizontal, estos van separados 300 mm uno de otro, también, se instaló un refuerzo diagonal a los tirantes internos a una altura de 280 mm con respecto a la vertical, como se puede observar en la imagen.



Gráfica 96 Protección de los pies.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### **i. Bases del tren motriz y basculante.**

Para las bases del tren motriz se tuvieron en consideración las dimensiones del motor eléctrico, CVT y baterías, está formado por dos tubos rectangulares que se encuentran ubicados a 250 mm de distancia del arco principal, en éste se asentarán las bases de soporte del motor eléctrico y el embrague centrífugo principal, necesariamente se ubicará otro tubo rectangular de las mismas características que el anterior a 470 mm de la referencia anterior, en éste se asentarán las bases para el embrague secundario, la caja de reversa y el piñón motriz de la cadena. Se aplicaron refuerzos diagonales a las dos bases, con el fin de ayudar a la distribución de esfuerzos.

Las bases donde acogieron al basculante son de platina de acero de  $2 \times 1 \frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ , estos van separados 320 mm uno de otro, teniendo en cuenta el centro del tubo rectangular. Es necesario reforzar las bases con ángulos tanto en la parte superior como en la parte inferior de cada uno de ellos.



Gráfica 97 Bases para el tren motriz.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### 5.2.7 Soldadura de bastidor tubular.

Para la soldadura del bastidor tubular se ha utilizado el proceso SMAW, por arco con electrodo revestido, proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo del electrodo y el metal base de la unión a soldar; es importante considerar que cada vez que se reemplaza el electrodo consumido, se pierde la continuidad a lo largo del cordón, para ello es necesario tener en cuenta el consumo del electrodo para evitar discontinuidad o variaciones involuntarias .

Para el proceso de suelda, se ha efectuado con el electrodo E6011 y E6013, para un buen acabado superficial, el espesor de la garganta del cordón ( $A_w$ ) se calcula por la siguiente ecuación.

$$A_w = 0,707 \cdot (w)$$

$$A_w = 0,707 \cdot (0.35)$$

$$A_w = 0.25 \text{ cm}$$

Para el cálculo de la resistencia de diseño de la soldadura se obtiene mediante la ecuación.

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

Donde,

$f$  = coeficiente de resistencia (0,75).

$A_w$  = Espesor de la garganta (0,25cm).

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

$F_y$  = Resistencia a la tracción del electrodo (E60=422 Mpa = 4220 Kg/cm<sup>2</sup>).

$$\text{Resistencia de Diseño} = (0,75)(0,25)(0,6 \cdot 4220) \text{ kg/cm}$$

$$\text{Resistencia de Diseño} = 474,75 \text{ kg/cm}$$



Gráfica 98 Proceso de suelda del bastidor.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Es importante tener en cuenta la posición correcta para realizar la soldadura de las respectivas uniones entre perfiles tubulares, garantizando así una soldadura de buena calidad.

#### 5.2.8 Pintado de la estructura.

Para el proceso de pintura como primera fase, se limpia el bastidor de tal forma que éste quede libre de escorias de suelda y rebabas quedadas en las uniones de los perfiles, consecutivamente se aplica un desfoliante, éste hace que el óxido existente en la estructura tubular, se elimine de la superficie del metal. Posteriormente de haber sido lavado y limpiado se procede al pintar con antioxidante o base. Es importante la base de pintura, de ella dependerá el tiempo de duración a los procesos de pintado del bastidor. Para ello se utilizó la pintura sólida de poliuretano, la cual otorgó un acabado brillante y de buena calidad. Se empleó diluyente y catalizador para su uso.





Gráfica 99 Aplicación de pintura.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Para el secado de la base poliuretano, se tardó 24 horas. Es importante obtener un buen sacado para la manipulación posterior y ensamble de los elementos mecánicos que se adaptarán en el bastidor.



Gráfica 100 Acabado final de la estructura  
Autores: Cunalata W, Terán J.



### 5.3 Construcción de la carrocería.

Teniendo en consideración que la estructura del bastidor es rígida y éste va a soportar directamente todas las cargas a las que va a estar expuesto. La carrocería, no cumple ninguna función estructural más que protección a los ocupantes, brindar al vehículo un aspecto aerodinámico y estético.

#### 5.3.1 Modelación.

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, superior y posterior de la carrocería.



Gráfica 101 Modelación.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Previo a la aplicación de la cera desmoldante, para facilidad en el momento de desprender el cartón empleado para el molde, es necesario aplicar masking

automotriz en todas las áreas, esto ayudará a desprender con gran facilidad el cartón del molde base.



Gráfica 102 Colocación de cinta.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### 5.3.2 Aplicación de cera desmoldante.

Una vez culminado el proceso de moldeado, se aplica cera desmoldante en todas las áreas, por lo menos tres veces, de manera que permanezca bien encerada. Esto es importante ya que así evitaría los desperfectos en el molde base al momento de desprender.



Gráfica 103 Cera desmoldante.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

La fibra de vidrio se corta en rectángulos pequeños de 300 x 120 mm, tales que facilite su manipulación. Es sumamente importante utilizar equipo de protección como mascarillas, guantes y gafas de seguridad, de tal forma que las pequeñas partículas de espuma que se desprenden, no afecten al organismo.



Gráfica 104 Corte de fibra.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

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



Gráfica 105 Preparación de la mezcla.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

#### a. Consideraciones y precauciones.

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

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

#### 5.3.3 Aplicación de la fibra de vidrio para el molde.

Para su aplicación, se colocan los rectángulos de fibra de vidrio sobre el modelo de cartón, remojándolos con la mezcla proporcional de resina, estireno y el catalizador, de tal manera que se cubran completamente cada una de las áreas; cuando la primera capa esté seca, se aplica una segunda capa, se considera esperar un tiempo de 12 horas para un secado total y así lograr un cuerpo sólido que permita despegarse el cartón del molde sin daños o deformación alguna.



Gráfica 106 Proceso de colocación de la fibra de vidrio.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Después de cada aplicación es necesario remojar la brocha que se utilizó con thinner, con el fin de evitar que la mezcla se endurezca en las cerdas de la brocha y ésta ya no sirve para otra nueva aplicación.

#### 5.3.4 Obtención del molde para la carrocería.

Para obtener el molde definitivo, se procede a retirar la estructura del bastidor donde se trabajó, como se puede ver en la imagen, una vez realizado este procedimiento, se desprende cuidadosamente el cartón que inicialmente, con ayuda de ello se dio la respectiva geometría y curvaturas variables al molde base para la carrocería.



Gráfica 107 Molde de carrocería.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Una vez que se obtiene el molde principal, es necesario trabajar en los bordes; con ayuda de un marcador o lápiz se señala el exceso de fibra y resina existente y se procede a cortar, de tal manera que los bordes superiores como los inferiores tengan una correcta uniformidad.





Gráfica 108 Perfeccionamiento de forma.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Es necesario trabajar en las caras interiores del molde, de tal manera que se encuentren uniformes y limpias, con el fin de evitar imperfecciones en la nueva carrocería , para lograr esto se trabajó con máquinas lijadoras manuales en todas las áreas del molde base, como se puede ver en la imagen.



Gráfica 109 Lijado.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### 5.3.5 Obtención de la carrocería.

Una vez culminado el proceso de lijado y limpieza del molde, se aplicó nuevamente la cera desmoldante al molde de la carrocería, es conveniente aplicar por lo menos tres veces, teniendo en cuenta un tiempo de 45 minutos,

con el fin de obtener una lámina considerable de cera, ya que ésta ayuda de gran manera, a desprender con facilidad uno del otro.

Minuciosamente se aplicó la fibra de vidrio en el molde encerado cuatro veces, teniendo en cuenta un tiempo prudencial para un correcto secado y así lograr un cuerpo rígido que permita despegarse uno de otro sin ningún problema.



Gráfica 110 Colocación de cera desmoldante.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Finalmente se obtuvo la base de la carrocería donde se montó nuevamente en la estructura del bastidor y se trabajó principalmente en la parte frontal inferior y superior, realizando pequeñas entradas curvilíneas así como las bases para los focos delanteros y de igual manera en la parte lateral, detalles que darán el aspecto estético y aerodinámico deseado, como se puede ver en la imagen.



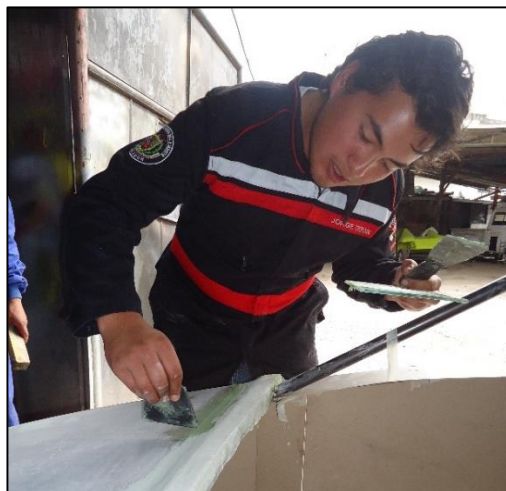
Gráfica 111 Base de carrocería.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Realizado todos estos detalles, se procedió a realizar los cortes necesarios con el cuidado especial, para ello se ayudó de una amoladora neumática manual.



Gráfica 112 Detallado de las curvas aerodinámicas.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

Una vez concluido cada uno de los cortes se limpió la superficie de la carrocería quedando libre de polvo y suciedad para trabajar en el lijado y masillado, fue importante cubrir a detalle las imperfecciones de manera que se obtuvo una excelente uniformidad en todo el contorno de la carrocería.



Gráfica 113 Masillado.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

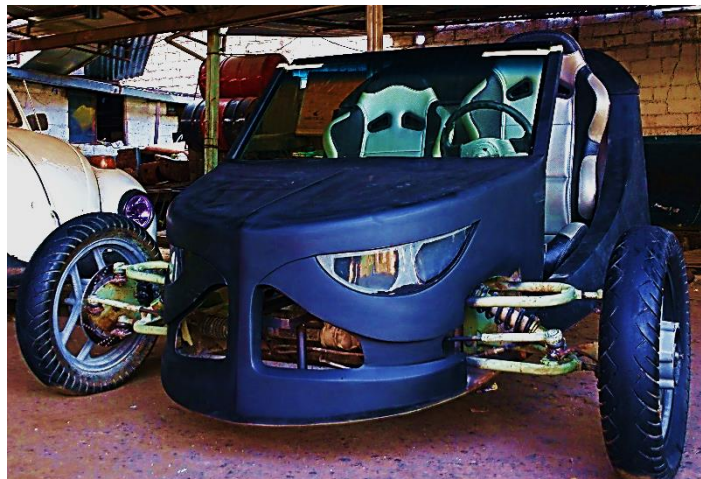


### 5.3.6 Pintado de la carrocería.

Previo al proceso de pintura se aplicó el fondo para colores sólidos, de tal manera que al momento de pintar, éste se adhiera correctamente, aparte de servir como base principal de pintura. Se usó la impresión gris de fondo para colores sólidos, de tal forma que la pintura se adhiera mejor. Aparte de cumplir como impresión es una especie de base para el posterior color.

El porcentaje adecuado de dilución de la pintura en thinner es de 1 parte de diluyente por 3 de pintura. La mezcla de pintura con thinner, se coloca en la pistola de aire para su aplicación.

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.



Gráfica 114 Aplicación de la pintura.  
Autores: Cunalata W, Terán J.

### 5.3.7 Pulido y acabado final.

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

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

### 5.4 Análisis de costos.

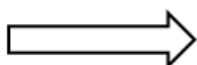
Se consideran los costos directos, materiales, mano de obra, alquiler de máquinas, costos de operación y mantenimiento de la máquina.

#### 5.4.1 Costos de materiales (CM).

Tabla 38 Costos de materiales.

CANTIDAD	MATERIAL	P. UNITARIO	P. TOTAL
40	Tubo redondo ASTM A36 25,4x2mm	2,50	100,00
25	Tubo Rectangular ASTM A36 25,4x50,8x2mm	3,80	95,00
12	Electrodos 6011 (Kilo)	5,20	62,40
6	Electrodos 6013 (kilo)	5,45	32,70
9	Discos de corte para amoladora 4"	2,75	24,75
5	Discos de Corte para amoladora 7"	4,85	24,25
2	Platina 3"x1/4" (m)	8,50	17,00
2	Platina 1 1/2"x 1/4" (m)	5,00	10,00
4	Varilla 3/8" (m)	3,00	12,00

Continúa



5	Brocha 2"	1,93	9,65
4	Brocha 3"	2,44	9,76
25	Thinner (lts)	1,50	37,50
2	Endurecedor Pintura Mate(lts)	16,85	33,70
1	Catalizador Pintura	66,36	66,36
2	Barniz Poliuretano Mate (lts)	16,55	33,10
1	Masilla Plástica Catalizadora (gl)	17,50	17,50
45	Fibra de Vidrio (Kg)	3,37	151,65
45	Estireno (Kg)	3,17	142,65
54	Resina Poliéster (Kg)	3,63	196,02
6	Cobalto (60 cc)	1,50	9,00
5	MECK Peróxido de Sodio (60cc)	0,60	3,00
1	Hidroflex Relleno (gl)	57,58	57,58
2	Catalizador Negro Brilloso Poliuretano	14,81	29,62
20	Lija de Agua #80	0,34	6,80
15	Lija de Agua #220	0,24	3,60
1	Pistola Gravedad 1,5mm 400cc	11,07	11,07
25	Envases Plásticos (gl)	0,49	12,25
4	Fondo de adherencia metal (lts)	7,84	31,36
20	Talco chino (kg)	3,49	69,80
7	Lija de hierro	0,60	4,20
8	Masillero	0,80	6,40
17	Cartón (Pliego)	2,10	35,70
3	Cera Antiadherente (Kg)	18,20	54,60
12	Masking Automotriz (1 1/2")	3,80	45,60
<b>TOTAL</b>			<b>1456,57</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

#### 5.4.2 Costos de alquiler de maquinarias (CAM).

Tabla 39 Alquiler de maquinaria.

<b>MAQUINARIA</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>COSTO ALQUILER</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>M1</b>	3	20	60
<b>M2</b>	13	5	65
<b>M3</b>	7	3	21
<b>M4</b>	5	12	60
<b>M5</b>	3,5	2	7
<b>M6</b>	2	2	4
<b>M7</b>	1	5	5
<b>M8</b>	6	7	42
<b>M9</b>	2	8	16
<b>M10</b>	2	15	30
<b>TOTAL</b>			<b>310</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 5.4.3 Costos de mano de obra (CMO).

Tabla 40 Costo mano de obra.

OPERARIO	No HORAS	COSTO/HORA	COSTO TOTAL
Mecánico	40	5	200
Ayudante de mecánica	40	3	120
Soldador	20	9	180
Ayudante de soldador	20	5	100
Tornero	3	9	27
Fibrero	35	12	420
Pintor	24	10	240
<b>TOTAL</b>			<b>1287</b>

Realizado por: Cunalata W, Terán J.

### 5.4.4 Costo total.

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

$$\text{COSTO FINAL} = \text{CM} + \text{CUM} + \text{CMO}$$

$$\text{COSTO FINAL} = 1456,57 + 310 + 1287$$

$$\text{COSTO FINAL} = \$ 3053,57$$

$$\text{Imprevistos } 5\% = \$152,68$$

$$\text{Costo total real} = \$ 3206.25$$

En el costo total del proyecto no constan gastos adicionales como capacitaciones de diseño, ni costos extras por pruebas realizadas.

## CAPÍTULO VI

### 6.1 Conclusiones y recomendaciones.

#### 6.1.1 Conclusiones.

- Se diseñó y construyó el bastidor y carrocería para un vehículo biplaza, haciendo uso de manufactura ecuatoriana y recurriendo a herramientas informáticas.
- Se pudo reunir información inherente al funcionamiento y constitución de los vehículos eléctricos, así como también para los vehículos biplaza.
- Las herramientas CAD, permitieron tener mayor precisión a la hora de diseñar el bastidor y la carrocería, al momento de realizar el modelado.
- Con la ayuda de softwares CAE, se pudieron realizar análisis estáticos y aerodinámicos, los mismos que brindaron fiabilidad previa a la construcción.
- El Bastidor, soportó todas las cargas estáticas, sufrió una deformación de 0.00021733 m, lo que viene a ser 0.2 mm y que brindó una gran fiabilidad de construcción.
- El esfuerzo equivalente de Von Mises provocado en el bastidor fue de 84.307 MPa y el límite de fluencia del Acero ASTM A36 fue de 250 MPa, lo que indica que el material seleccionado soporta las cargas estáticas
- El factor de seguridad mínimo fue de 2.96, lo que aseguró fiabilidad en el diseño de la estructura del bastidor.
- En el análisis aerodinámico, la velocidad del viento de 40Km/h, provocó una presión máxima en la carrocería de 1.0027 atm, indicando que el diseño es muy aerodinámico y que no ejerce mucha oposición al movimiento.
- Los resultados obtenidos en los diferentes análisis, demostraron que el diseño es confiable y que se cumplió con las metas propuestas.

### 6.1.2 Recomendaciones.

- Utilizar manufactura ecuatoriana para la construcción de bastidores.
- Reunir información previa al diseño y construcción, para abaratar costos si el caso lo ameritara.
- Hacer uso de herramientas CAD, para el modelado.
- Usar softwares CAE para los diferentes análisis, ya sean estáticos o aerodinámicos.
- Utilizar materiales que soporten las cargas estáticas propuestas.
- Diseñar estructuras que ofrezcan un factor de seguridad mayor que 2.

**Bibliografía.**

Alonso, J. M. (2009). Técnicas del Automóvil, Chasis. Madrid: Editorial Paraninfo.

Alonso, J. M. (2011). Técnicas del automóvil - Chasis. Madrid: Mc Graw Hill.

Andrade, A. (2009). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CHASIS PARA UN BUGGY DE LA FÓRMULA AUTOMOVILÍSTICA UNIVERSITARIA. Riobamba.

Asta, E. (2012). Fundamentos de soldadura por arco eléctrico. México: Noriega.

Burgos, G. (2009). Generalidades del aire. Madrid: Interamericana Editores S.A.

Gabriel, V. (2006). Estructuras de acero. Bogotá: Unidad de publicaciones.

Gómez, T. (2012). Estructuras del Vehículo. Madrid: Paraninfo.

INEN. (2009). Vehículos Automotrices Carrocerías . Quito. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Lincoln, K. (2012). Soldeo Manual con Electrodo. México: Paraninfo

MARKS. (2009). Manual del Ingeniero Mecánico. San Francisco: McGraw-Hill.

Martínez, R. (2010). Criterios para Seleccionar Sistemas de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora (CAD/CAM). México: Mc Graw Hill

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. España.

Serrulle, J. (2010). Humanidad y Naturaleza. Alicante: Mc Graw Hill.



**Netgrafía.**

Acesco. <http://www.acesco.com>. Obtenido de [http://www.acesco.com/acesco/images/stories/Manuales/MANUAL\\_PER\\_FILES\\_Final-BAJA.pdf](http://www.acesco.com/acesco/images/stories/Manuales/MANUAL_PER_FILES_Final-BAJA.pdf). [citado 01 de octubre de 2013]

ADEMISA. <http://www.ademinsa.com.do>. Obtenido de <http://www.ademinsa.com.do/ensayos.html>. [citado 13 de octubre de 2013]

Alós. <http://www.automocionblog.com/>. Obtenido de <http://www.automocionblog.com/post/37351/campagna-t-rex-16s-3-un-tres-ruedas-con-motor-bmw>. [citado 14 de marzo de 2014]

Andrade, A. Obtenido de [dSPACE.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec): <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf>. [citado 05 de diciembre de 2013]

Cajas, C. <http://wiki.ead.pucv.cl>. Obtenido de <http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Archivo:Asientoconangulos.jpg>. [citado 21 de julio de 2013]

Cárdenas, M. [www.forocoches.com](http://www.forocoches.com). Obtenido de <http://www.forocoches.com/google.php?cx=partner-pub-3755389162544803%3Aww38tt335tp&cof=FORID%3A10&ie=ISO-8859-1&q=aerodinamica&sa=Buscar&siteurl=www.forocoches.com%2Fgoogle.php#1109>. [citado 11 de julio de 2014]

Gutiérrez, Á. <http://gutygutierrez.blogspot.com/>. Obtenido de <http://gutygutierrez.blogspot.com/2013/10/carrocERIAS-de-vehiculos-tipos-y.html>. [citado 21 de octubre de 2013]

Gutiérrez, G. <http://wiki.ead.pucv.cl>. Obtenido de [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Archivo:Esquemas\\_ERGONOMIA.jpg](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Archivo:Esquemas_ERGONOMIA.jpg). [citado 19 de enero de 2014]

- Lara, P. <http://puentelara.blogspot.com/>. Obtenido de <http://puentelara.blogspot.com/2013/02/aluminio-uso-en-el-automovil.html>. [citado 13 de febrero de 2014]
- Larrañeta, A. <http://www.20minutos.es>. Obtenido de <http://www.20minutos.es/noticia/212961/0/coches/nuevos/garajes/>. [citado 16 de marzo de 2014]
- López, M. <http://www.alianzaautomotriz.com/>. Obtenido de <http://www.alianzaautomotriz.com/innovacionytecnologia/page/2/>. [citado 13 de diciembre de 2013]
- Montoya, M. <http://blog.utp.edu.co>. Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/28/5-5-diagrama-hierro-carbono-puntos-criticos-y-ejemplos-de-regla-de-la-palanca-2-2/>. [citado 28 de julio de 2013]
- Motor. <http://diario.deportesonline.com>. Obtenido de <http://diario.deportesonline.com/que-es-el-coeficiente-aerodinamico-de-un-coche/>. [citado 12 de septiembre de 2013]
- Novacero. [www.novacero.com](http://www.novacero.com). Obtenido de [www.novacero.com/tuberia/tuberia-con-costura-right/estructural-right.html](http://www.novacero.com/tuberia/tuberia-con-costura-right/estructural-right.html). [citado 05 de mayo de 2014]
- Pérez, J. <http://es.scribd.com/>. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/105524711/2-DISENO-FACTOR-DE-SEGURIDAD>. [citado 30 de julio de 2013]
- Plaza, A. <http://www.motorpasionf1.com>. Obtenido de <http://www.motorpasionf1.com/alms/se-presenta-y-estrena-en-mid-ohio-el-nuevo-corvette-c6r-gt2>. [citado 07 de agosto de 2013]
- Roller, A. [www.f1-gears.com](http://www.f1-gears.com). Obtenido de <http://www.f1-gears.com/showthread.php?t=178>. [citado 30 de diciembre de 2013]

- Segovia, G. <http://www.virtualcctuning.com/>. Obtenido de [http://www.virtualcctuning.com/epages/62193189.sf/es\\_ES/?ObjectPath=/Shops/62193189/Categories/%22ASIENTOS%20DE%20COCHE%22](http://www.virtualcctuning.com/epages/62193189.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/62193189/Categories/%22ASIENTOS%20DE%20COCHE%22). [citado 13 de julio de 2013]
- Segovia, S. <http://tube.aeiou.pt>. Obtenido de <http://tube.aeiou.pt/dobladora-de-tubo-manual/>. [citado 08 de agosto de 2013]
- SIEMENS. <http://www.plm.automation.siemens.com/>. Obtenido de [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/plm/cae.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cae.shtml). [citado 22 de enero de 2014]
- Tapia, M. <http://www.cienciabizarra.com/>. Obtenido de [http://www.cienciabizarra.com/2013\\_06\\_01\\_archive.html](http://www.cienciabizarra.com/2013_06_01_archive.html). [citado 06 de junio de 2014]
- Trávez, C. <http://dspace.esPOCH.edu.ec>. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf>. [citado 17 de junio de 2014]
- Troncoso, M. CASIOPEA. Obtenido de [http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Auto\\_Solar](http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Auto_Solar). [citado 28 de noviembre de 2013]
- Tutorial N° 101. [www.ingemecanica.com](http://www.ingemecanica.com). Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn101.html>. [citado 07 de septiembre de 2013]
- Urrutia, M. [www.carcabin.com](http://www.carcabin.com). Obtenido de <http://www.carcabin.com/carmakers.html>. [citado 22 de enero de 2014]
- URT- UTP Racing Team. <http://urthsae.blogspot.com>. Obtenido de <http://urthsae.blogspot.com/2011/02/disenos-del-chasis.html>. [citado 17 de febrero de 2014]

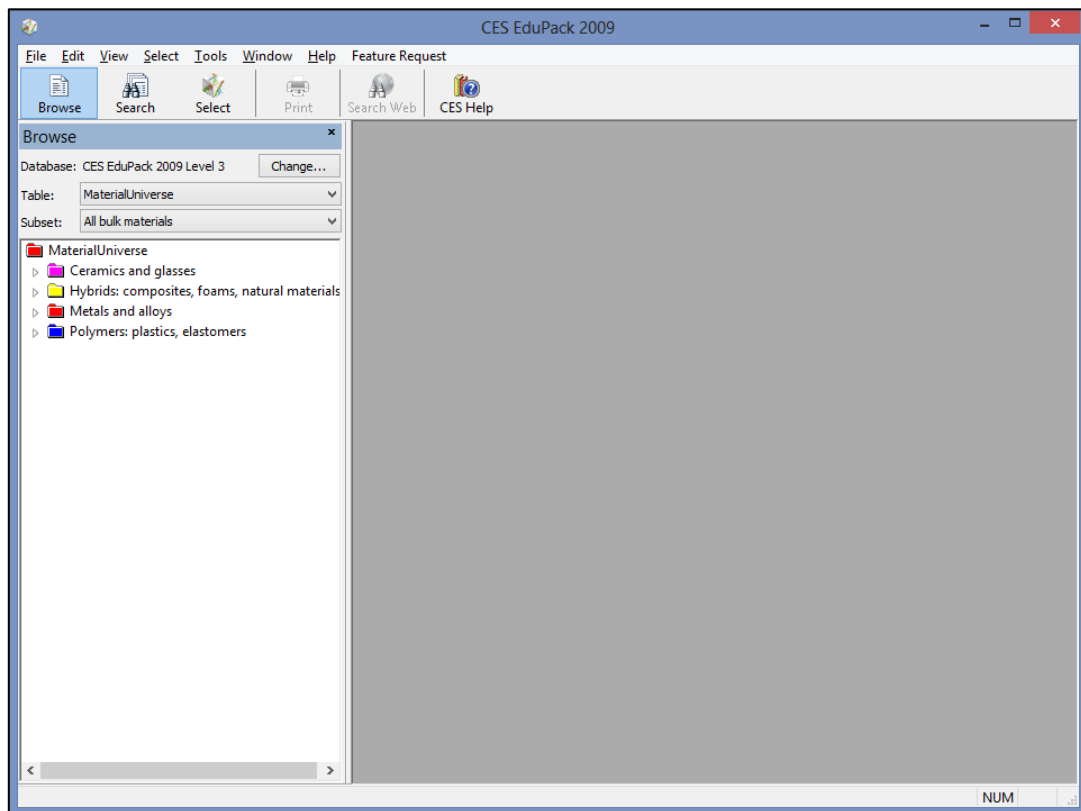
Valverde, J.. <http://www.aulatecnologia.com>. Obtenido de <http://www.aulatecnologia.com/ESO/SEGUNDO/teoria/estructuras/jpg/flexion.png>. [citado 10 de diciembre de 2013]

**Anexos.**

## **Anexo A**

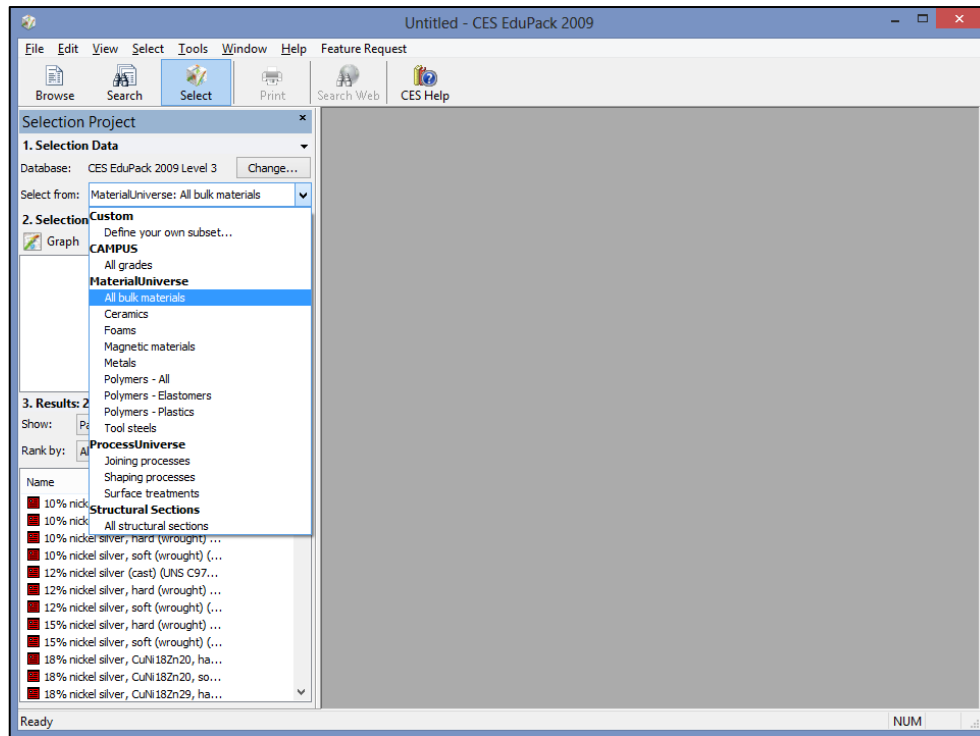
**Selección de material en el software ces Edupack 2009.**

Para la selección del material, se ha utilizado una herramienta informática llamada CES EduPack 2009. Lo primero que se debe hacer es cargar todos los materiales existentes en la base de datos del programa. Entre los tipos de material se encuentran Cerámicos, plásticos, metales y aleaciones, polímeros y plásticos.



Autores: Cunalata W, Terán J.

Se crea un nuevo proyecto y en la pestaña **select from**, se elige **All bulk materials**, lo que generará toda la gama de materiales existentes.



Autores: Cunalata W, Terán J.

Si se abre algún material, se puede apreciar cada una de las propiedades físicas y mecánicas del mismo, además de su composición.

Para que el programa filtre las opciones, para que proporcione el material más adecuado, se requiere escoger la opción **limit**, lo que desplegará un listado de propiedades, las cuales hay que llenar los valores dependiendo de los límites mecánicos y físicos del material que se necesite para el proyecto. En los campos se ha designado valores como densidad, porcentaje de carbono, fósforo y azufre; además del Módulo de Young, módulo de corte, módulo de compresibilidad y factor de deformación. En ese momento, se ha podido llegar a filtrar la mayoría de materiales, hasta tener aceros inoxidable y bajas aleaciones de acero; de todos ellos, los más indicados son los aceros al carbón.



	Minimum	Maximum	
Density	7000	8000	kg/m <sup>3</sup>
Price			USD/kg

Boron carbide (particulate)			%
Borsic (fiber)			%
C (carbon)		0.26	%

Os (osmium)			%
P (phosphorus)		0.04	%

Ru (ruthenium)			%
S (sulfur)		0.05	%
Sb (antimony)			%

	Minimum	Maximum	
Young's modulus		220	GPa
Shear modulus		90	GPa
Bulk modulus		175	GPa
Poisson's ratio			
Shape factor		59	
Yield strength (elastic limit)			MPa
Tensile strength			MPa
Compressive strength			MPa
Flexural strength (modulus of rupture)			MPa
Elongation		43	%

<input type="checkbox"/>	AerMet 100
<input type="checkbox"/>	Carbon steel, AISI 1015, normalized
<input type="checkbox"/>	Carbon steel, AISI 1020, as rolled
<input type="checkbox"/>	Carbon steel, AISI 1020, normalized
<input type="checkbox"/>	Carbon steel, AISI 1022, as rolled
<input type="checkbox"/>	Carbon steel, AISI 1022, normalized
<input type="checkbox"/>	Cast iron, high silicon, BS grade Si...
<input type="checkbox"/>	Cast iron, high silicon, BS grade Si...
<input type="checkbox"/>	Cast iron, high silicon, BS grade Si16
<input type="checkbox"/>	Cast iron, high silicon, BS grade Si...
<input type="checkbox"/>	High alloy steel, AF 1410
<input type="checkbox"/>	Low alloy steel, AISI 4320, annealed

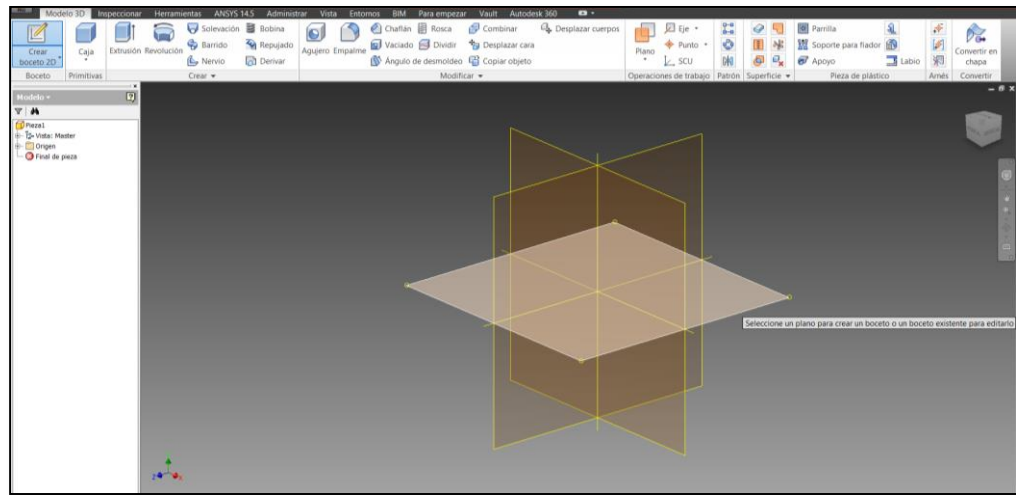
Autores: Cunalata W, Terán J.

Disminuida la lista de materiales, se ha elegido como el material más adecuado al **acero al carbón AISI 1020 normalizado**.

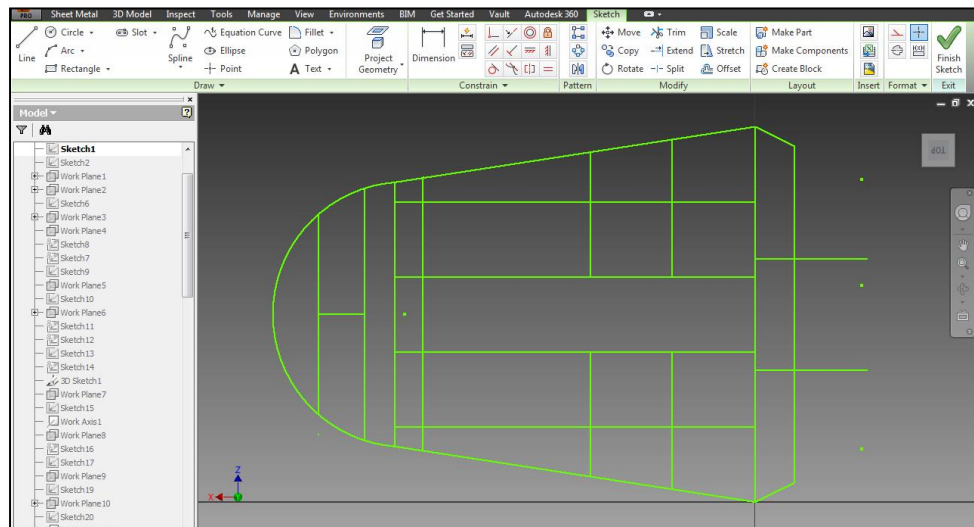
## **ANEXO B**

**Modelado de la geometría del bastidor.**

Teniendo en consideración todos los requerimientos para el bastidor, como primera fase del proceso de modelado en el software CAD, se selecciona un plano 2D y se crea un boceto, automáticamente aparecen las herramientas de dibujo, se eligió la herramienta línea con el cual se va a dibujar las líneas con las dimensiones previstas de la base del bastidor.

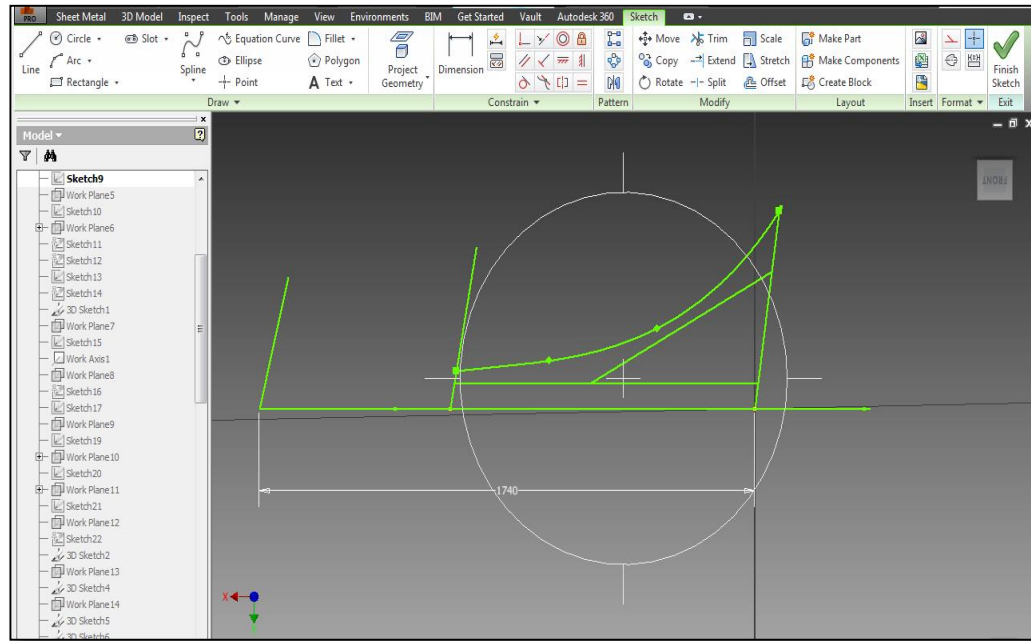


Autores: Cunalata W, Terán J.



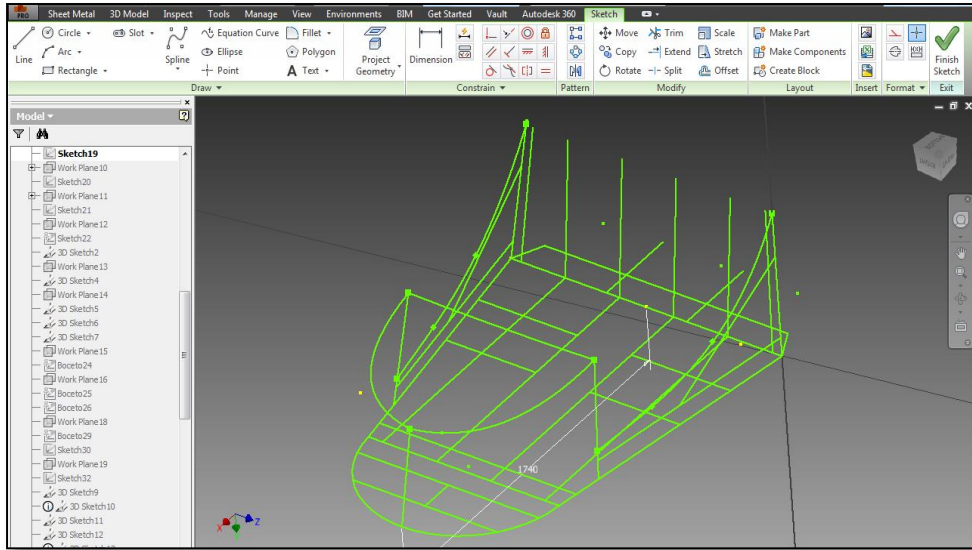
Autores: Cunalata W, Terán J.

Como segunda fase del modelado, se crea otro boceto 2D, en el cual se dibujan las líneas que actuarán como protectores de impacto laterales y tirantes del arco frontal, este proceso se realiza en ambos lados, de tal manera que sean iguales.



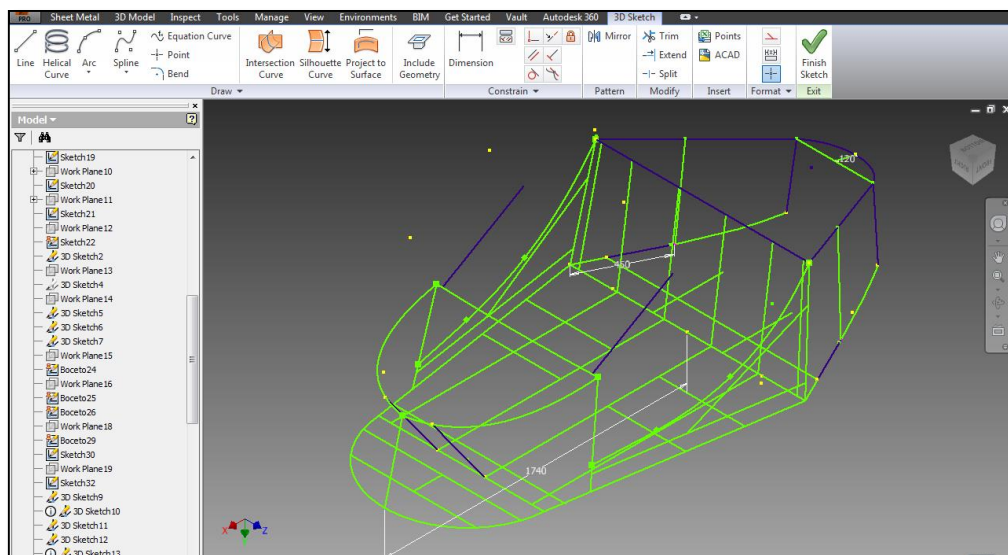
Autores: Cunalata W, Terán J.

De igual manera, se crea un boceto 2D, donde se van a dibujar las líneas que actuarán como protectores, tanto frontales como posteriores, es importante de que la unión entre líneas sean perfectas, ya que el modelado se ha trabajado en los tres planos principales, se tiene en cuenta esto para evitar problemas al momento de trabajar en bocetos 3D.



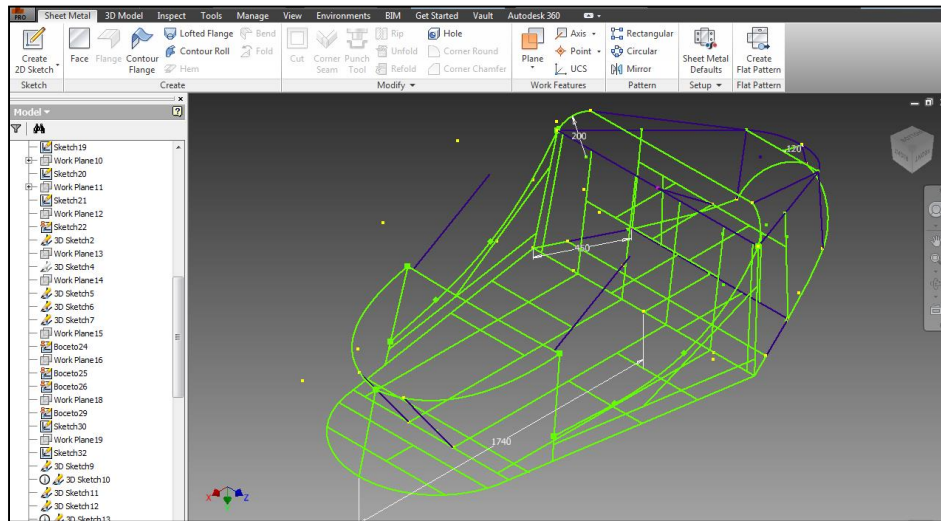
Autores: Cunalata W, Terán J.

Una vez finalizados los bocetos en 2D, como tercera fase del modelado se procede a trabajar con bocetos 3D, siendo una de las grandes ventajas y facilidades que brinda el software CAD, con el cual se crea las respectivas líneas que van actuar como arcos principal y frontal, protección de los pies del conductor, tirantes traseros, protectores traseros, bases para el tren motriz y baterías.



Autores: Cunalata W, Terán J.

Una vez finalizados los bocetos realizados en 3D, finalmente se obtiene el modelado de la estructura del bastidor, como se puede observar en el diseño, para obtener tal forma necesariamente hay que trabajar en bocetos 3D, ya que hay líneas completamente difíciles e imposibles de crear en los dos planos.

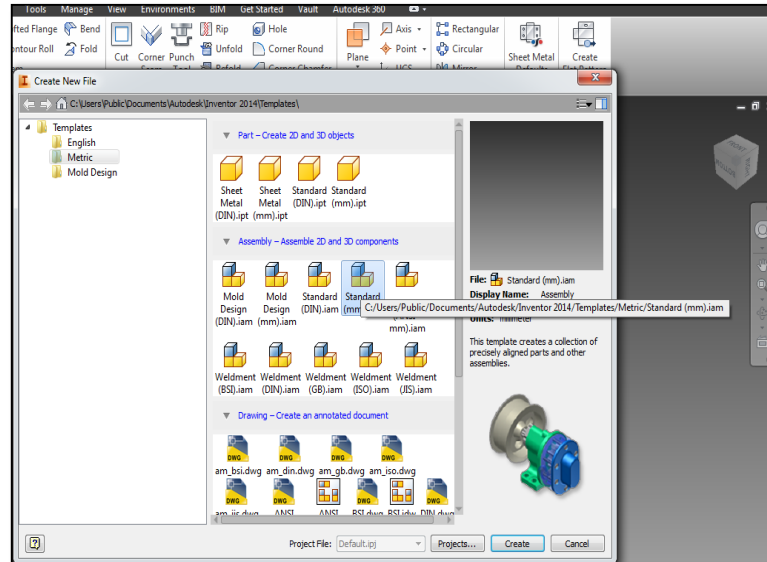


Autores: Cunalata W, Terán J.

## **ANEXO C**

**Generación de perfiles estructurales y especificaciones del material.**

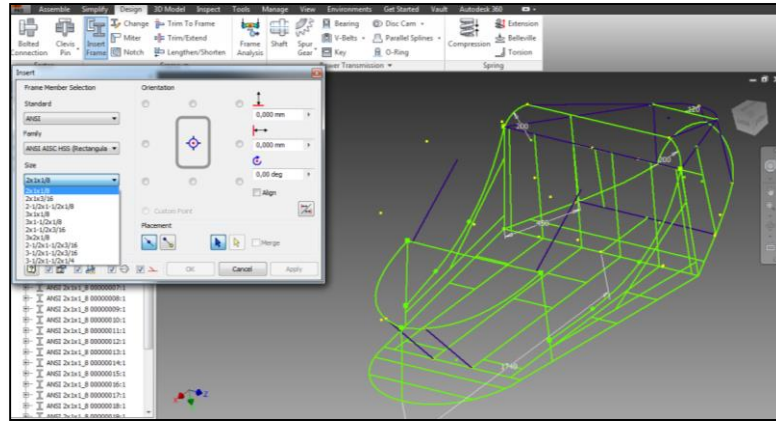
Para la generación de la estructura del bastidor, como primer paso se crea un nuevo ensamble, en él se llama al modelado del bastidor ya finalizado, donde se va a trabajar.



Autores: Cunalata W, Terán J.

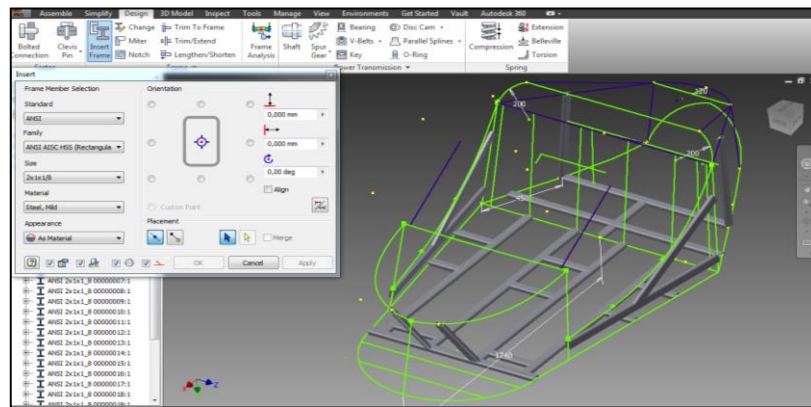
Una vez que se tiene el modelado de la estructura del bastidor en el nuevo ensamble, se selecciona la opción **Design**, en esta pestaña aparece una barra de herramientas, se elige la opción **Insert Frame**, y emerge una ventana donde pide que el archivo sea guardado previo a la generación de la estructura, posterior a ello, aparece la ventana **Insert**, en él se elige la norma, la familia, el tamaño y el material con el que se va a generar la estructura.





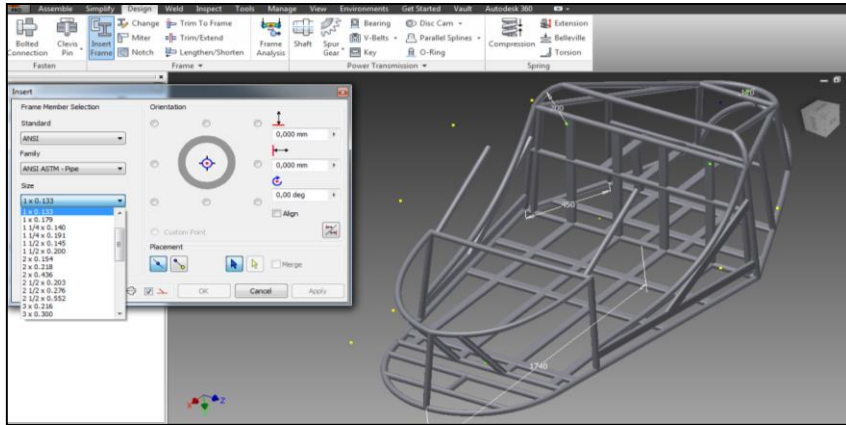
Autores: Cunalata W, Terán J.

Ya elegidos los miembros de la estructura, se seleccionan las líneas donde se va a generar la tubería rectangular; en este caso la base principal y del tren motriz, los protectores laterales y traseros, los tirantes y protectores de los pies para la generación de la estructura del bastidor, como se puede ver en la imagen.



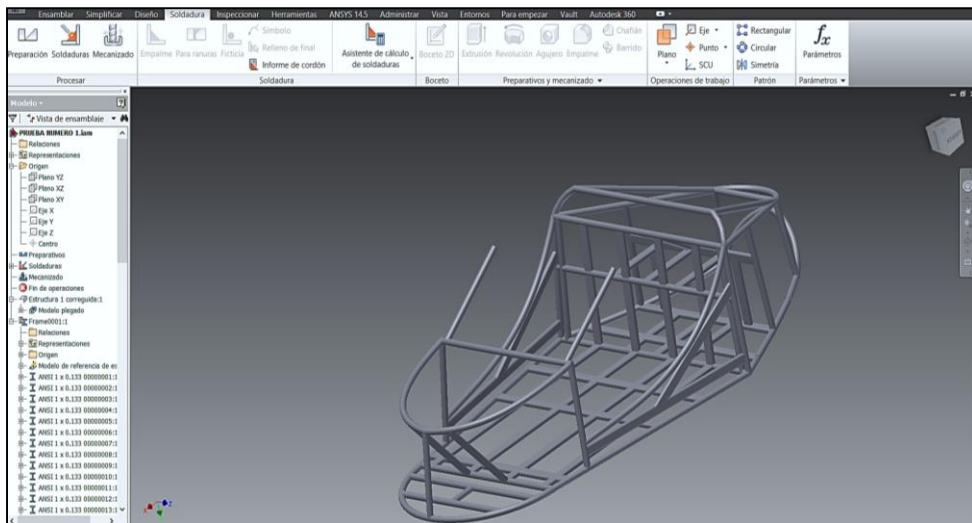
Autores: Cunalata W, Terán J.

Para la generación de la tubería redonda, de igual manera, se realiza el mismo proceso de selección de líneas donde se va a generar la tubería y formar parte de la estructura final que constituye el bastidor con cada una de sus partes como son los arcos principal y frontal, protectores traseros, tirantes traseros y delanteros, como se puede ver en la imagen.



Autores: Cunalata W, Terán J.

Finalmente, el proceso de generación de la estructura culmina, y se puede observar en la imagen el bastidor como un elemento estructural compacto con diferentes perfiles.

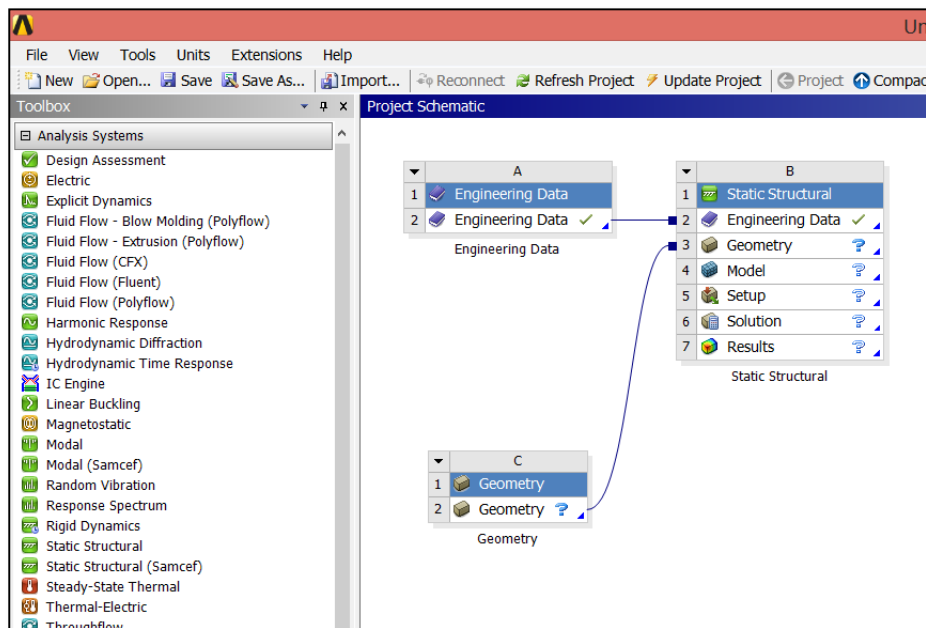


Autores: Cunalata W, Terán J.

## **ANEXO D**

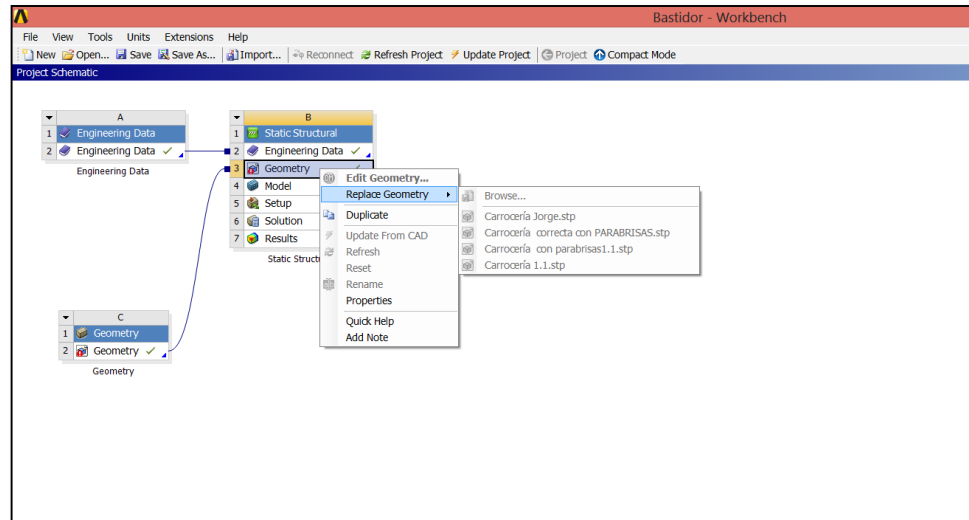
**Análisis estático de la estructura del bastidor tubular.**

En la ventana principal del software CAE se puede visualizar un panel de herramientas (**Toolbox**), en el cual se encuentran todos los sistemas de análisis que el software brinda y los componentes del sistema; como primer paso se arrastra a la ventana del proyecto estructural la opción **Engineering Data** luego se elige la opción **Static Structural** y seguidamente la opción **Geometry**, una vez elegido se une las opciones de **Engineering Data** como se puede ver en la imagen.



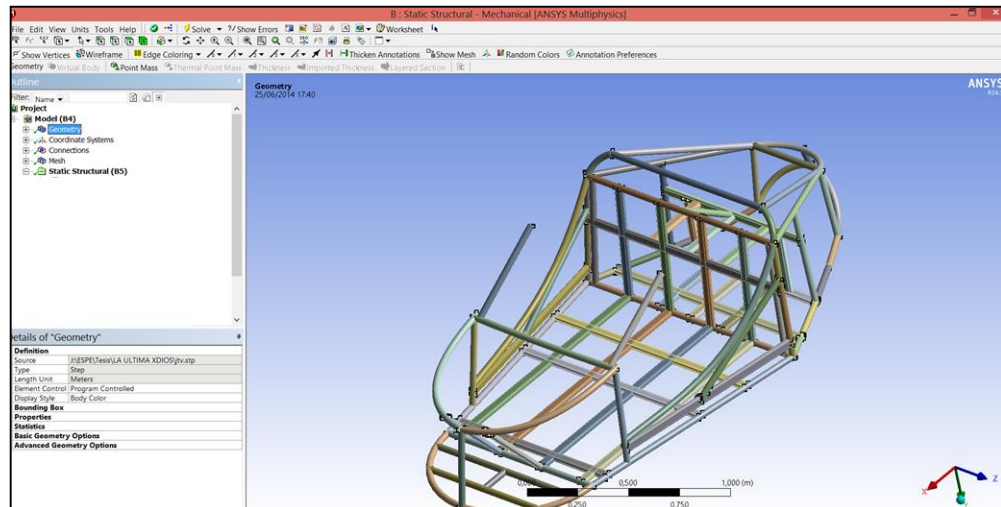
Autores: Cunalata W, Terán J.

Se unen las opciones de **geometry** como se puede ver en la imagen, se hace un clic en esta pestaña y aparece otra, en ella se elige la opción **import geometry**, y luego **browse**, inmediatamente aparece la una ventana donde se importa el elemento a ser analizado, en nuestro caso la estructura del bastidor en formato **.step**, como se puede ver en la imagen.



Autores: Cunalata W, Terán J.

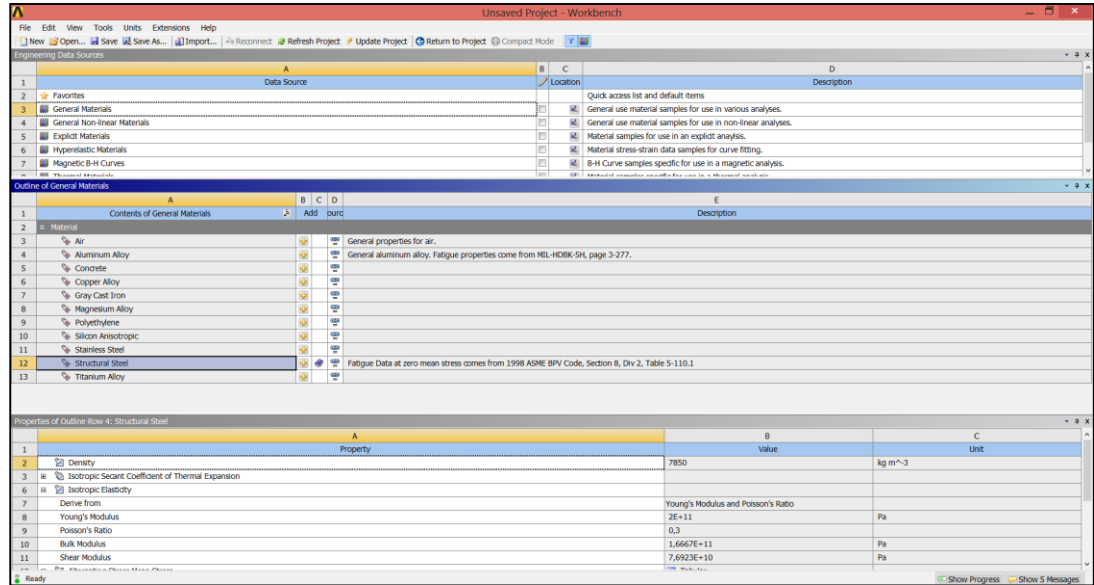
Automáticamente se elige el elemento que va a ser expuesto al análisis, aparece en una nueva ventana la estructura del bastidor, como se puede ver en la imagen.



Autores: Cunalata W, Terán J.

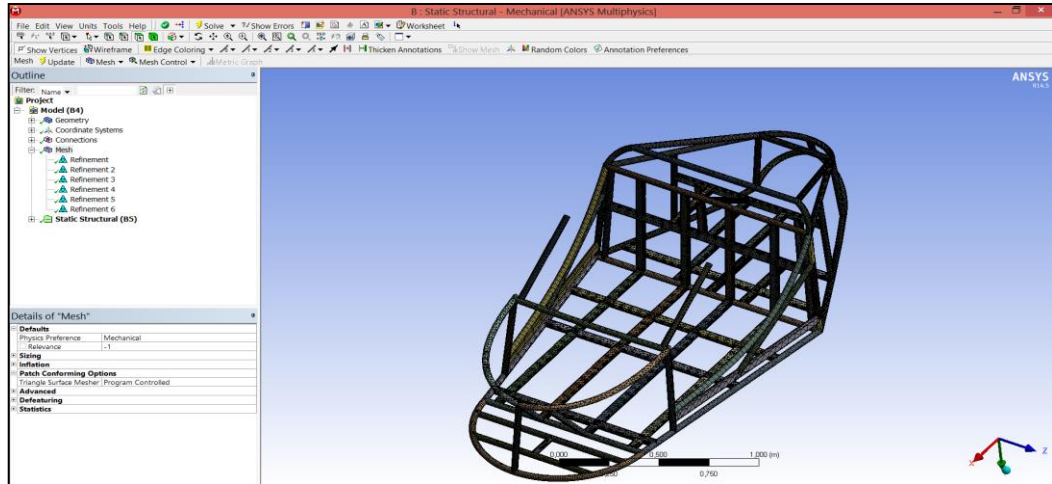
Ya teniendo cargada la geometría, es importante editar los materiales de los que va a estar compuesta la estructura. Para ello se debe abrir la pestaña Engineering Data, en donde se necesita buscar un material con características y propiedades similares a las del acero ASTM A36.

En la imagen se puede observar que el material **Structural Steel**, tiene propiedades muy cercanas a las que se requiere.



Autores: Cunalata W, Terán J.

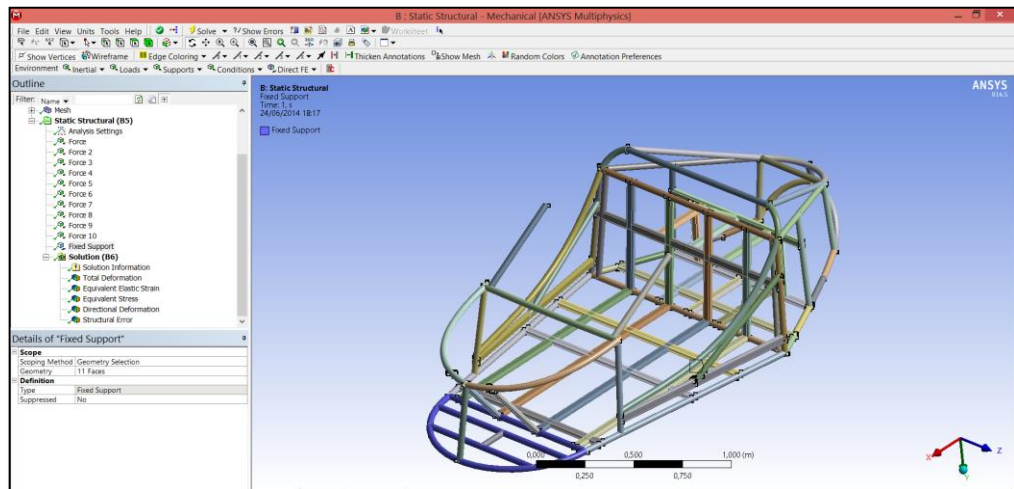
Como siguiente fase del análisis se procede a realizar el mallado, damos clic en la opción **Mesh** y aparece varias opciones, elegimos **Generate Mesh** y automáticamente aparece una pequeña ventana informando que se ha iniciado el proceso de mallado, una vez finalizado queda de la siguiente manera como se puede ver en la imagen.



Autores: Cunalata W, Terán J.

Antes de ubicar cada una de las cargas, se necesita indicar en la estructura el lugar específico donde se aplicará una restricción de fijación (**Fixed Support**).

Para la aplicación de las respectivas cargas que van actuar en la estructura, se selecciona la superficie de contacto donde va actuar cada una de las cargas.

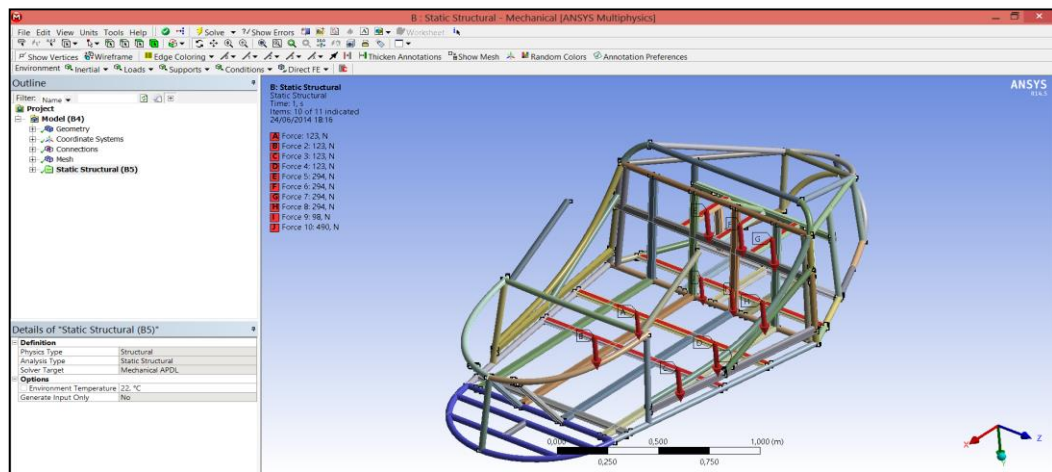


Autores: Cunalata W, Terán J.

Para la colocación de las fuerzas puntuales en la estructura, se tendrá abrir la sección de **Static Structural**, al hacer click sobre ella, se despliegan las

diferentes opciones de cargas, en donde se elige la opción **Loads**, posteriormente, **Force**.

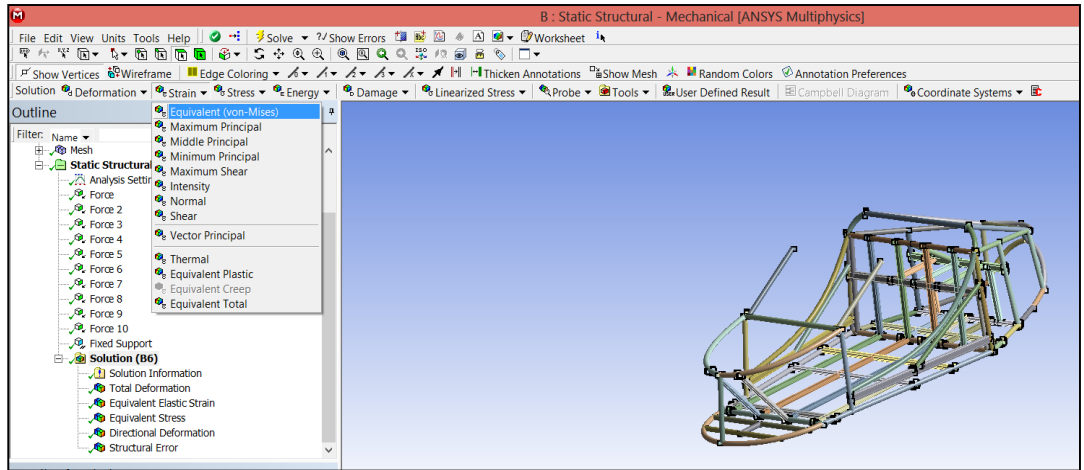
En el panel de detalles es necesario especificar la magnitud y dirección de la fuerza, además de su unidad; su ubicación y sentido; entre otras.



Autores: Cunalata W, Terán J.

Posterior a la ubicación de las cargas, es necesario especificar los diferentes resultados que se necesita para el análisis, en lo que se ha seleccionado: Deformación Total, Esfuerzo Equivalente de Von-Mises, Tensión Equivalente, Deformación Direccional, Error Estructural y Factor de Seguridad.





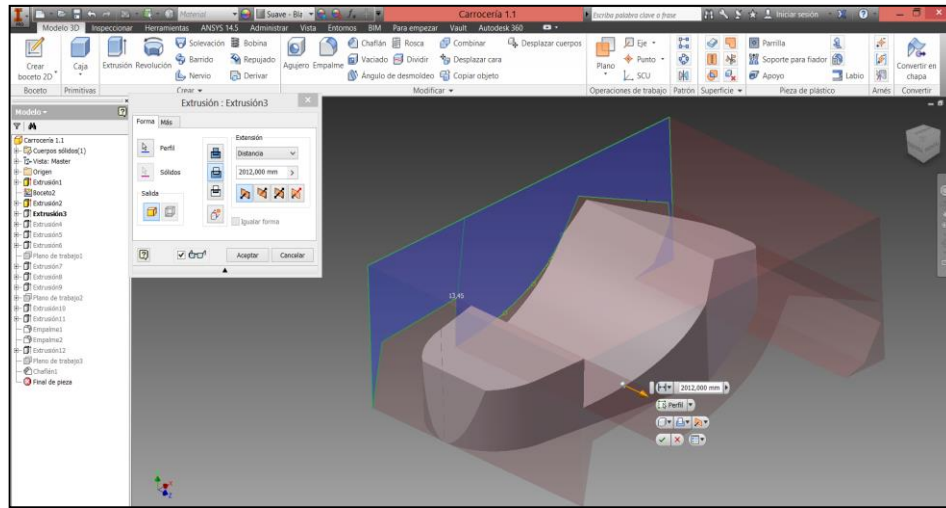
Autores: Cunalata W, Terán J.

## **ANEXO E**

**Modelado de la geometría de la carrocería.**

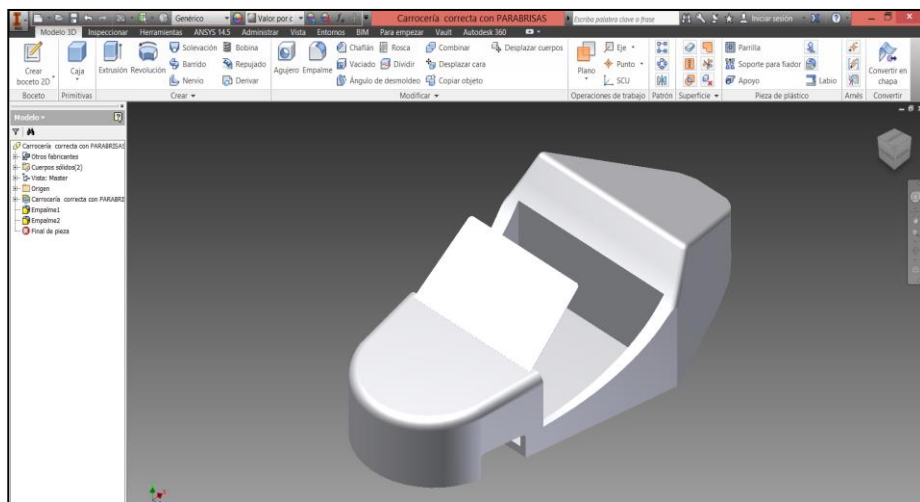


Existen muchas formas y procesos para obtener un dibujo en una herramienta CAD, para lo cual se ha elegido ir desbastando del molde principal, hasta llegar a la figura requerida.



Autores: Cunalata W, Terán J.

Posterior al desbastado, solo queda ejecutar las herramientas vaciado, empalme y chafflán, para obtener el acabado deseado.



Autores: Cunalata W, Terán J.

**ANEXO F**  
**Planos de Construcción.**

**ANEXO G**  
**Artículo Científico.**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Carlos Wilfrido Cunalata Cunalata y Jorge Santiago Terán Vaca, bajo mi supervisión.

---

**ING. ERNESTO SANTILLÁN**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**ING. WILLIAM BONILLA**  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**ING. JUAN CASTRO**  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**DR. FREDDY JARAMILLO**  
**SECRETARIO ACADÉMICO**