



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

VISUALIZACIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA ESTILO SERIE FÓRMULA SAE, A TRAVÉS DE TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS ESTEREOSCÓPICAS DENTRO DEL OBSERVATORIO CIENTÍFICO IXTLI U. N. A. M.

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

ÁREA: DISEÑO, MANUFACTURA Y MATERIALES.

**P R E S E N T A:**

**David Francisco Ramírez Muñoz**



**DIRECTOR DE TESIS:**  
**Ing. Armando Sánchez Guzmán**

Ciudad Universitaria, México, Distrito Federal.

AÑO 2012.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Designación de Sinodales de Examen Profesional.

Jurado:

Presidente: Dr. Marcelo López Parra.

Vocal: Ing. Armando Sánchez Guzmán.

Secretario: Dr. Adrián Espinosa Bautista.

1er. Suplente: Dr. Alvaro Ayala Ruíz.

2do. Suplente: Lic. Lizbeth Heras Lara.

## Dedicatoria.

Este trabajo de Tesis, fue realizado con mucho esfuerzo, motivación, paciencia y orgullo; y lo dedico con todo cariño y amor a mi gran hermano Paco, a mi padre Pancholín y en especial a mi querida madre Rosalba (Chabis), quienes han forjado y dado crecimiento, fortaleza, valores y fruto de mí, a través de sus enseñanzas, consejos y regaños; y siguen haciendo posible mi desarrollo y formación como persona, como profesionista y ahora como ingeniero, al formar parte como ente con principios éticos al servicio de la sociedad.

Con mucho cariño...

David Francisco Ramírez Muñoz.

Para viajar lejos, no hay mejor nave que un libro...

Emily Dickinson.

La ingeniería es una esfera infinita:

su centro está en cada uno de sus proyectos

y su periferia es inalcanzable.<sup>1</sup>

Ing. Daniel Reséndiz Nuñez.

---

<sup>1</sup> *Paráfrasis de Blas Pascal (Pensées, 72) y Jorge Luis Borges ("La Biblioteca de Babel", Ficciones.).*

## Agradecimientos.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a:

Agradezco a ésta Máxima casa de Estudios U. N. A. M., principalmente a la Facultad de Ingeniería, mi Alma Mater, por formarme como individuo y profesionista, con valores y principios éticos, intelectuales y culturales; al ser una institución de prestigio a nivel mundial y, por formar profesionales y doctos con juicio en todas las disciplinas científicas, tecnológicas, sociales y humanísticas.

Agradezco el enorme apoyo, confianza y cariño de mis padres, toda mi familia, mi novia, amigos y colegas SAE-tas, a quienes siempre tengo presentes y forman parte de este esfuerzo.

Agradezco al Ing. Armando Sánchez Guzmán por su dirección, enseñanza, guía, consejos y observaciones en el desarrollo de este trabajo, el cual considero será un gran y enorme aporte como proyecto a la Facultad de Ingeniería, así como también, el permitirme participar dentro del proyecto Mini-Baja durante mi estancia en la Universidad.

Agradezco a Israel Celedonio Martínez, por su ayuda, aporte, contribución y colaboración en la realización de este proyecto y trabajo de tesis.

Agradezco a Elisa Muñoz por su profundo amor, cariño, confianza y paciencia y, quién siempre estuvo y sigue a mi lado apoyándome en la realización de éste y otros proyectos de vida y profesionales a futuro... Te Amo mucho Peque, mi chiquistriquis hemosha, mua ♥...

Agradezco el aporte y recomendaciones de todos mis sinodales en este trabajo de tesis.

Agradezco las facilidades y servicios prestados a través del Observatorio de Visualización “Ixtli”, por facultar la presentación de mi examen profesional, así como el apoyo, ayuda y colaboración al equipo de cabina y sala (Gabriel y Juan) en el despliegue virtual del proyecto.

Muchas Gracias a todos y cada uno de ustedes...

# Contenido

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vii
Objetivo.....	xv
Introducción.....	xvii

## **Capítulo 1.** ANTECEDENTES DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE Y DEL SISTEMA DE VISUALIZACIÓN CIENTÍFICA DENTRO DEL OBSERVATORIO IXTLI U. N. A. M. 1

1.1. HISTORIA DE FÓRMULA SAE.....	1
1.1.1. REGLAS DEL FÓRMULA SAE.....	6
1.1.2. PRUEBAS A CALIFICAR.....	6
1.1.3. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DEL FÓRMULA SAE.....	7
1.1.4. PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL DEL VEHÍCULO FSAE.....	10
1.2. HISTORIA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO U. N. A. M.....	13
1.2.1. OBSERVATORIO DE VISUALIZACIÓN IXTLI U. N. A. M.....	14
1.2.2. SERVICIOS DEL OBSERVATORIO DE VISUALIZACIÓN IXTLI.....	15
Referencias Bibliográficas.....	18
Referencias de Imágenes.....	19

## **Capítulo 2.** PROPUESTA DE SISTEMAS PARA EL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE. 21

2.1. ESTUDIO DE LA DINÁMICA DEL VEHÍCULO.....	22
2.1.1. DINÁMICA DEL VEHÍCULO.....	22
2.1.1.1. FUERZAS DE INERCIA.....	24
2.1.1.2. RESISTENCIA DEL CAMINO.....	27
2.1.1.3. FUERZA TRACTIVA.....	29
2.1.1.4. FUERZA DE ADHERENCIA.....	32
2.1.1.5. FUERZA DE TIRO.....	34
2.2. FUERZA MOTRIZ.....	35

2.2.1.	EL MOTOR.....	36
2.2.1.1.	MOTORES UTILIZADOS EN LA COMPETENCIA FSAE.....	41
2.2.1.2.	CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PAR Y POTENCIA.....	42
2.2.1.3.	ELASTICIDAD DEL MOTOR.....	45
2.2.1.4.	SELECCIÓN DEL MOTOR.....	47
2.3.	TRANSMISIÓN.....	52
2.3.1.	DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN DEL FSAE.....	54
2.3.2.	SISTEMA DE EMBRAGUE.....	56
2.3.2.1.	SELECCIÓN DEL EMBRAGUE.....	56
2.3.3.	SISTEMA DE CAJA DE CAMBIOS.....	58
2.3.4.	ÁRBOL DE TRANSMISIÓN O CARDÁN.....	60
2.3.5.	DIFERENCIAL O PUENTE MOTRIZ.....	61
2.3.6.	SELECCIÓN DEL DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN.....	62
2.4.	ESTRUCTURA.....	63
2.4.1.	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y ANTROPOMETRÍA.....	63
2.4.1.1.	REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES.....	65
2.4.2.	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE MATERIAL.....	67
2.4.2.1.	ROLL HOOPS.....	68
2.4.2.2.	ZONA LATERAL DE IMPACTO DE LA ESTRUCTURA.....	69
2.4.3.	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE.....	70
2.4.3.1.	CARROCERÍA, ESTÉTICA Y AERODINÁMICA.....	71
2.4.3.2.	RESISTENCIA DEL AIRE.....	72
2.5.	SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	75
2.5.1.	MISIÓN DE LA SUSPENSIÓN.....	75
2.5.2.	ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN.....	75
2.5.3.	SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL FÓRMULA SAE.....	78
2.5.3.1.	EL CAMBER.....	78
2.5.3.2.	PARÁMETROS EN LA CINEMÁTICA DE LA SUSPENSIÓN.....	81
2.5.3.2.1.	CENTRO INSTANTÁNEO.....	81
2.5.3.2.2.	CENTRO DE GIRO (ROLL CENTRE).....	82
2.5.3.2.3.	UBICACIÓN DEL CENTRO DE GIRO.....	82
2.5.4.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN FRONTAL DEL FSAE.....	83
2.5.5.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN TRASERO DEL FSAE.....	84
2.5.6.	SELECCIÓN DE LOS AMORTIGUADORES DEL FSAE.....	85
2.5.6.1.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE AMORTIGUACIÓN.....	88
2.6.	SISTEMA DE FRENOS.....	89
2.6.1.	CINEMÁTICA DEL SISTEMA DE FRENADO DEL VEHÍCULO FSAE.....	90
2.6.2.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS DEL VEHÍCULO FSAE.....	91
2.7.	SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	92
2.7.1.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL VEHÍCULO FSAE.....	93
2.7.2.	RINES Y NEUMÁTICOS.....	96
	Referencias Bibliográficas.....	98
	Referencias de Imágenes.....	100

### **Capítulo 3. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA VISUALIZACIÓN DE OBJETOS EN TERCERA DIMENSIÓN. 103**

3.1.	REALIDAD VIRTUAL.....	103
3.2.	REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA.....	104
3.2.1.	INMERSIÓN.....	104
3.2.2.	TIPOS DE INMERSIÓN.....	105
3.2.3.	AMBIENTES VIRTUALES INMERSIVOS.....	106
3.2.4.	AMBIENTES VIRTUALES NO INMERSIVOS.....	107
3.2.5.	VENTAJAS DE LOS AMBIENTES INMERSIVOS SOBRE LOS NO INMERSIVOS.....	108
3.3.	ESTEREOSCOPÍA O VISIÓN EN 3D.....	108
3.3.1.	IMAGEN ESTEREOSCÓPICA Y PARALLAX.....	109
3.3.2.	SISTEMA DE PRESENTACIÓN.....	112
3.4.	REQUERIMIENTOS DE LOS AMBIENTES VIRTUALES INMERSIVOS.....	116
3.4.1.	INTERFAZ DEL USUARIO.....	118
3.4.2.	GRADOS DE LIBERTAD.....	120
3.4.3.	VISOR O VISUALIZADOR DE MODELOS.....	120
3.4.4.	NAVEGADOR DE MODELOS.....	122
3.4.5.	DESPLIEGUE DE SOFTWARE DENTRO DE LA SALA IXTLI.....	122
	Referencias Bibliográficas.....	124
	Referencias de Imágenes.....	125

### **Capítulo 4. VISUALIZACIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA ESTILO SERIE FÓRMULA SAE, A TRAVÉS DE TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS ESTEREOSCÓPICAS DENTRO DEL OBSERVATORIO IXTLI U. N. A. M. 127**

4.1.	DISEÑO DE SISTEMAS DEL VEHÍCULO.....	127
4.1.1.	ESTRUCTURA.....	128
4.1.1.1.	PROCESO EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES.....	128
4.1.1.2.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y PANELES DE PROTECCIÓN.....	135
4.1.1.3.	MODELADO GEOMÉTRICO.....	140
4.1.1.3.1.	PRE-PROCESAMIENTO Y POST-PROCESAMIENTO.....	142
4.1.1.4.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA POR ELEMENTOS FINITOS.....	142
4.1.1.4.1.	ZONA FRONTAL DE IMPACTO.....	143
4.1.1.4.2.	ZONA LATERAL DE IMPACTO.....	149
4.1.2.	SISTEMA DE FUERZA MOTRIZ Y TRANSMISIÓN.....	155
4.1.2.1.	MOTOR.....	155
4.1.2.1.1.	MÚLTIPLE DE ADMISIÓN Y ESCAPE.....	156
4.1.2.2.	EMBRAGUE.....	157
4.1.2.3.	CAJA DE CAMBIOS.....	158

4.1.2.4.	TREN MOTRIZ Y DIFERENCIAL O PUENTE MOTRIZ.....	159
4.1.2.5.	TANQUE DE COMBUSTIBLE.....	162
4.1.2.6.	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	163
4.1.2.6.1.	RADIADOR.....	165
4.1.3.	SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	165
4.1.3.1.	CENTRO DE GIRO (ROLL CENTRE).....	166
4.1.3.2.	SISTEMA DE SUSPENSIÓN FRONTAL.....	168
4.1.3.2.1.	AMORTIGUADORES, RESORTES, ROCKERS Y PUSH RODS....	172
4.1.3.3.	SISTEMA DE SUSPENSIÓN POSTERIOR.....	173
4.1.3.3.1.	AMORTIGUADORES, RESORTES, ROCKERS Y PUSH RODS....	177
4.1.4.	SISTEMA DE FRENOS.....	177
4.1.4.1.	SISTEMA DE FRENOS DELANTEROS.....	178
4.1.4.2.	SISTEMA DE FRENOS TRASEROS.....	179
4.1.4.3.	BOMBA DE FRENO.....	180
4.1.4.4.	LÍNEAS DE FRENO.....	180
4.1.5.	SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	182
4.1.5.1.	CAJA DE DIRECCIÓN.....	184
4.1.5.2.	MAZAS Y BRAZOS DE LA DIRECCIÓN.....	185
4.1.5.3.	RINES Y NEUMÁTICOS.....	186
4.1.5.3.1.	SISTEMA DELANTERO.....	187
4.1.5.3.2.	SISTEMA TRASERO.....	188
4.1.6.	SISTEMA ELÉCTRICO.....	189
4.1.6.1.	ACUMULADOR.....	189
4.1.6.2.	VENTILADOR.....	190
4.1.6.3.	LUZ DE FRENO.....	191
4.2.	MONTAJE DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO FSAE.....	192
4.2.1.	MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL VEHÍCULO FSAE.....	192
4.2.2.	MONTAJE DE LOS SISTEMAS DELANTEROS DEL VEHÍCULO FSAE.....	192
4.2.3.	MONTAJE DE LOS SISTEMAS TRASEROS Y DEL SISTEMA DE FUERZA MOTRIZ DEL VEHÍCULO FSAE.....	193
4.2.4.	MONTAJE DE LOS SISTEMAS DELANTEROS Y TRASEROS DEL VEHÍCULO FSAE.....	194
4.2.5.	MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL VEHÍCULO FSAE.....	195
4.3.	CONFIGURACIÓN FINAL DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE.....	196
4.3.1.	DISEÑO DE LA CARROCERÍA.....	196
4.3.2.	PERFIL AERODINÁMICO.....	198
4.3.3.	ESTÉTICA: PINTURA Y ACABADOS FINALES.....	200
4.4.	DISEÑO FINAL DEL VEHÍCULO-PROTOTIPO FÓRMULA SAE U. N. A. M....	201
4.5.	VISUALIZACIÓN DEL VEHÍCULO FSAE DENTRO DE LA SALA IXTLI.....	203
4.4.1.	HERRAMIENTAS DE REALIDAD VIRTUAL.....	204
4.4.2.	VISUALIZADORES DE OBJETOS 3D.....	205
4.4.3.	DESPLIEGUE ESTEREOSCÓPICO.....	208
	Referencias Bibliográficas.....	213
	Referencias de Imágenes.....	214

<b>Capítulo 5. ANÁLISIS DE COSTOS DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE.</b>	<b>215</b>
5.1. REPORTE DE COSTOS Y MANUFACTURA.....	215
5.2. MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL PROCESO DE DECISIÓN.....	216
5.3. TIEMPO ESTIMADO DE FABRICACIÓN.....	218
5.4. COSTO DE OPERACIÓN DE MANUFACTURA.....	223
5.5. COSTO TOTAL DEL VEHÍCULO FSAE.....	224
Referencias Bibliográficas.....	243
Referencias de Imágenes.....	243
CONCLUSIONES DEL PROYECTO FÓRMULA SAE.	245
1. EL PROYECTO FÓRMULA SAE.....	245
2. APORTE DEL PROYECTO FSAE A LA FORMACIÓN DEL INGENIERO.....	247
3. APORTE TÉCNICO.....	247
4. APORTE PRÁCTICO.....	248
5. APORTE PROFESIONAL.....	249
6. APLICACIONES DE LA REALIDAD VIRTUAL EN INGENIERÍA.....	250
Apéndice.....	253
APÉNDICE A.....	253
APÉNDICE B.....	258
APÉNDICE C.....	261
APÉNDICE D.....	268
APÉNDICE E.....	273
APÉNDICE F.....	277
APÉNDICE G.....	279
APÉNDICE H.....	282
APÉNDICE I.....	283
Glosario.....	289



---

## OBJETIVO.

- **OBJETIVO DEL PROYECTO FSAE:**

El objetivo del Proyecto FSAE, es que los estudiantes de las áreas de ciencias e ingeniería, apliquen los conocimientos y habilidades adquiridas dentro de las aulas, con la finalidad de idear, diseñar, fabricar, construir y competir con un pequeño vehículo-prototipo de carreras estilo Fórmula. Este proyecto involucra la máxima flexibilidad en el diseño y libertad para expresar la creatividad e imaginación de cada equipo participante, donde los equipos invierten entre 8 y 12 meses de trabajo en el diseño, construcción, pruebas y preparación de su(s) vehículo(s) antes de la competición, además, da la oportunidad de probar y comparar las habilidades de ingeniería con otros equipos de universidades alrededor del mundo.

El propósito de la competencia, es simular que existe una firma de manufactura automotriz ficticia, en donde se diseña, construye y prueba, un vehículo-prototipo para una evaluación de mercadotecnia, como un artículo de producción, venta y comercialización en serie. Además, los vehículos deben tener un alto nivel de equipamiento y desarrollo tecnológico en términos de aceleración, frenado y manejo.

Los equipos participantes deberán pasar las diferentes pruebas estáticas y dinámicas, para lograr la mejor selección de su(s) vehículo(s), por lo que deben cumplir con los requerimientos impuestos por el reglamento vigente.



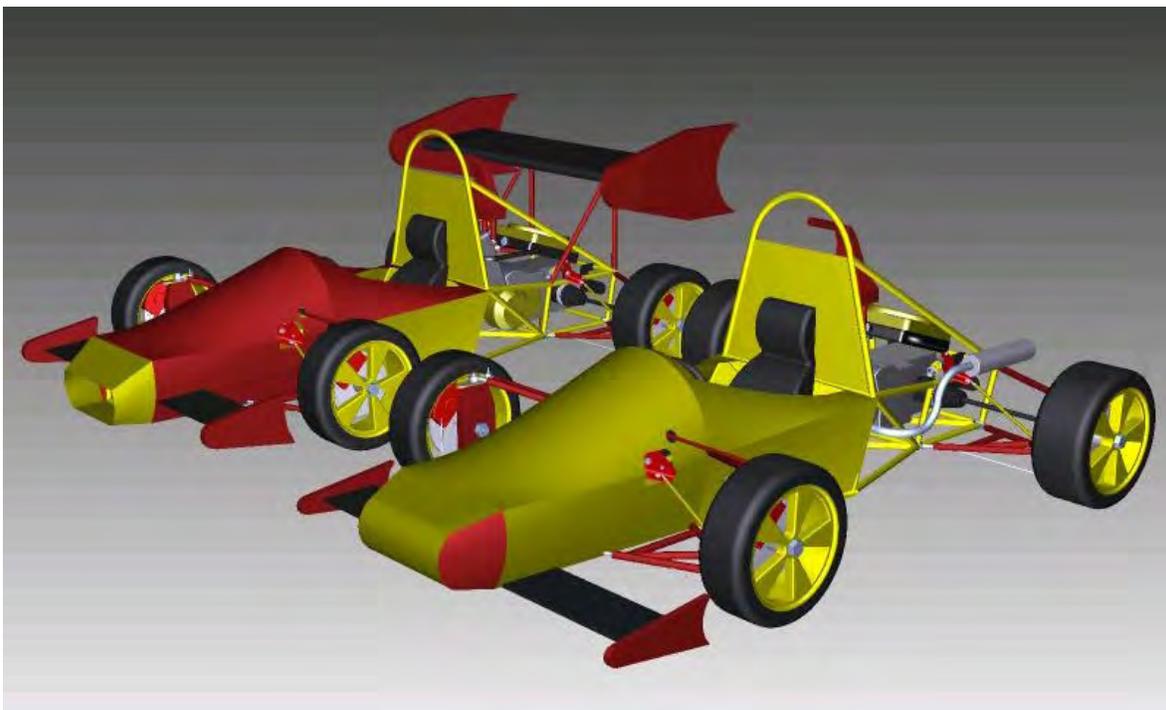
---

- **OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO DE TESIS:**

Definir las características de los diferentes Sistemas que componen un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, aplicando la Metodología de Diseño Tradicional y, Visualizar el Prototipo Diseñado dentro del Observatorio Ixtli, a través de Técnicas y Herramientas de Realidad Virtual.

- **METAS DEL PROYECTO:**

1. Selección del Motor del Vehículo.
2. Diseño de la Estructura y del Sistema de Suspensión.
3. Análisis de Elemento Finito de la Estructura.
4. Diseño Aerodinámico de la Carrocería.
5. Determinación del Costo del Proyecto.
6. Determinación del Tiempo de Fabricación del Proyecto.
7. Visualización del Proyecto, aplicación, implementación y utilización de Herramientas Estereoscópicas, dentro del Observatorio de Visualización Científica "Ixtli" U. N. A. M.
8. Elaboración del Proyecto Escrito.



David Francisco Ramírez Muñoz



---

## INTRODUCCIÓN.

El objetivo principal de este proyecto de tesis, *es definir y diseñar una propuesta en tercera dimensión de los elementos y las características* de los **Diferentes Sistemas que Componen un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE**, de acuerdo a los requerimientos establecidos por el reglamento vigente FSAE y; mostrar el despliegue e interacción estereoscópica del mismo, con técnicas, herramientas y aplicaciones tecnológicas tridimensionales, en especial, la realidad virtual inmersiva, manipulando la interacción del proyecto diseñado, dentro del Observatorio de Visualización Científica Ixtli U. N. A. M.

El proyecto Fórmula SAE de la SAE Internacional, así como los proyectos involucrados dentro de la U. N. A. M., a través de la Facultad de Ingeniería e Institutos, es involucrar al estudiante de las carreras de ingeniería y otras áreas científicas, a incursionar en el área automotriz.

El propósito de la competencia y del propio proyecto FSAE, es contribuir a la formación académica de los estudiantes, invitándolos a participar en el diseño y construcción de un vehículo-prototipo de carreras estilo Fórmula, e involucrar y aplicar los conocimientos y habilidades adquiridas dentro de las aulas. Con ello, se busca que los estudiantes, a través de un escenario como la Competencia de Fórmula SAE, muestren sus conocimientos, habilidades, ideas, creatividad, diseño e innovaciones para la industria automotriz, recibiendo a cambio toda una gama de experiencias, aprendizaje y sobre todo un acercamiento con las empresas donde en un futuro, al término de su carrera, podrían llegar a desarrollar.

Las consideraciones y restricciones del reglamento FSAE, hacen competitivo al proyecto con otras universidades, es decir, el objetivo del proyecto, es desarrollar un prototipo de competencia de pista, que integre los conocimientos, tecnología, habilidades y destrezas adquiridas en el transcurso de la carrera, esto ayuda a formar experiencia, participación, trabajo en equipo y liderazgo dentro del proyecto y en la vida profesional.

El presente trabajo de investigación, pretende definir y proponer las características de los diferentes Sistemas que componen a un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, aplicando la Metodología de Diseño Tradicional y, Visualizar el Prototipo Diseñado dentro del Observatorio Ixtli, a través de Técnicas y Herramientas de Realidad Virtual

La decisión inicial de los procesos de diseño deben ser proyectados para dar la solución óptima a nuestros problemas de diseño, aportando soluciones considerables. Los principales sistemas son divididos en subsistemas para identificar las condiciones, especificaciones o limitaciones del sistema que hay que diseñar.



---

El problema de diseño debe ser establecido para cada sistema, obteniendo las posibles soluciones a cada problema; después, buscando los aspectos positivos y negativos de cada solución, es posible hacer una matriz de decisión para el análisis de conceptos teóricos y criterios de diseño. Al final se diseñan cada uno de los diferentes sistemas por separado.

En el primer capítulo, se hace mención con una breve reseña histórica, de la trayectoria que ha tenido el proyecto FSAE durante varios años en diversas competencias y categorías, definiendo los términos y reglas establecidos dentro de la misma, así como las pruebas estáticas y dinámicas que debe aprobar y resistir el vehículo al participar con otras universidades. Se definen los sistemas que componen a un vehículo automotor, como lo es el FSAE. Se establece la Metodología de las fases y procedimientos de Diseño Tradicional empleados en Ingeniería, para llevar a cabo el Diseño Conceptual del Vehículo de acuerdo a las especificaciones y características técnicas descritas dentro del reglamento de FSAE. Por último se hace mención de la Dirección General de Cómputo, que es la entidad que administra los recursos centrales de información digital en la U. N. A. M. y, que es a través de ella, donde podremos introducirnos a los sistemas de realidad virtual, por medio de los servicios e infraestructura del Observatorio de Visualización Científica “Ixtli” y de los recursos humanos especializados en el desarrollo e integración de ambientes virtuales y visualización.

En el segundo capítulo de este trabajo, estudiaremos la fuerza motriz del vehículo, que es el conjunto de sistemas que se requieren para dar tracción y fuerza a un vehículo automotor. Ésta lo comprende: el motor, embrague, caja de cambios, árbol de transmisión o cardán, flechas y diferencial. En este apartado se estudian los diferentes tipos de motores que existen comercialmente y que se utilizan para la competencia, así como su aplicación, su potencia máxima, desplazamiento, cilindrada, ventajas y desventajas; se analizan las curvas de par y potencia, comparamos la elasticidad de cada motor y decidimos cual será el más óptimo que usaremos en la competencia. Además, veremos el sistema de transmisión, así como sus características de funcionalidad más relevantes, definiremos las características de cada uno de los dispositivos que lo componen, como son: el embrague, la caja de cambios, el diferencial y su función y las flechas o semiejes de transmisión. Aunado a esto, se hace una breve introducción del sistema de armazón o estructura del vehículo, a través de las restricciones de diseño y reglas establecidas por la competencia FSAE, así como las partes que la componen y los requerimientos mínimos de material. Dentro de este mismo apartado, se establecerán las condiciones y especificaciones que debe cumplir nuestro vehículo, como el estudio antropométrico en las dimensiones que describen las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, tomando como referencia, distintas estructuras anatómicas sirviendo como herramienta al diseño del vehículo, con el objeto de adaptar el entorno del habitáculo del piloto para mantener una mejor adaptabilidad de conducción, que además debe incluir el aspecto estético de la carrocería y aerodinámica del automóvil. Para finalizar, se busca la mejor propuesta de diseño en el sistema de suspensión, dirección, frenos y selección de neumáticos del vehículo, así como la cinemática del vehículo en algunos sistemas, realizando un estudio de las fuerzas que intervienen en el movimiento y deceleración del mismo, de tal manera, que pueda determinarse el comportamiento real del FSAE de forma aproximada al momento de ponerlo en marcha.



---

En el tercer capítulo, se introduce al estudio de la realidad virtual, en particular la realidad virtual inmersiva y al uso de herramientas y técnicas de despliegue estereoscópico o de visión en tercera dimensión; se definirán conceptos teóricos y técnicos de visualización, para abordar la interacción con los ambientes virtuales inmersivos y no inmersivos de un participante o usuario. Mencionaremos las herramientas y equipo de realidad virtual utilizado dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M., así como los diferentes sistemas de presentación que involucra ésta tecnología, como son: Estéreo Activo, Estéreo Pasivo y HMD; también se definirán los requerimientos y aplicaciones con los que intervienen la mayoría de los ambientes virtuales inmersivos tales como: cargadores de escena, formas de navegación, integración de personajes, sonido espacial, entre otros, así como la interfaz de entrada y salida del usuario con el entorno virtual; por último, describiremos el uso de dos maneras diferentes de visualización de objetos tridimensionales dentro de la Sala Ixtli, que son: visor o visualizador de modelos y navegador de modelos, que tienen como función, la muestra estereoscópica, interacción virtual y requerimiento de programas de observación científica para diferentes áreas o disciplinas de conocimiento y estudio, la cual nos permite simular, estudiar y analizar objetos de geometría simple y compleja, a través de la ayuda de sistemas especializados de despliegue estereoscópico, así como trabajar en el estudio de investigación en diversas áreas de ciencias exactas e ingeniería, arquitectura y arte, medicina y ciencias biológicas, humanidades, ciencias sociales y psicología.

En el cuarto capítulo, se efectuará el Diseño Conceptual del vehículo FSAE y de todos los sistemas que lo involucran, a través de la implementación, aplicación y puesta en práctica de antecedentes y herramientas mencionadas en capítulos anteriores y, siguiendo al margen y como referencia, las limitantes, convenios y estipulaciones dentro del reglamento vigente. Haremos uso de conocimientos y conceptos teóricos, manejo de ecuaciones matemáticas y físicas y paqueterías computacionales, para llevar a cabo el Diseño y Análisis de la Estructura, entre otros; como tal, es el caso particular en la etapa de la selección del perfil estructural y de los materiales involucrados para la misma, donde se realiza una selección confiable del mismo y una comparación gráfica de diversos calibres. Al establecer los principios básicos considerados para el diseño de la estructura, se pretende explicar cada etapa o fase del proceso a través de las diversas herramientas y conocimientos involucrados, como lo son: el Análisis de la Estructura por Elementos Finitos, el Diseño del Sistema de Suspensión; así también, como el diseño de la Carrocería en base al perfil aerodinámico. Esta fase de trabajo en el procesamiento de diseño conceptual, es considerada conjuntamente con el diseño en ingeniería, la cual conjuga facetas de arte (creatividad, imaginación y expresión) y ciencia aplicada (diagnóstico, diseño, análisis, verificación, optimización e incertidumbre), es decir, el ingeniero debe ser capaz de echar a volar las capacidades creativas, para formar una estructura sólida de lo que sabe y quiere hacer. Por último, a partir de todas éstas aplicaciones y conocimientos de ingeniería, haremos uso de la realidad virtual y de tecnologías informáticas, las cuales, nos permitirán visualizar y analizar las geometrías del proyecto, así como definir un criterio sólido en la toma de decisiones que podremos determinar y concluir, como lo son: que procesos de fabricación podremos utilizar, que modificaciones se podrían llevar a cabo a través de una propuesta de rediseño o ingeniería inversa, entre otras y, principalmente, que aspecto final tendrá el prototipo diseñado antes de su fabricación; todo esto llevado a cabo, mediante la visualización y exploración virtual del prototipo en escala real, antes de su fabricación.



---

Dentro del Observatorio de Visualización Científica Ixtli U. N. A. M., será necesario la aplicación de técnicas y herramientas tecnológicas en el despliegue estereoscópico del Vehículo, por lo que se requerirá, del uso de equipo virtual con un sistema de estéreo activo, a partir del uso de gafas o lentes electrónicas de cristal líquido, sincronizadas con la pantalla de la sala, con el fin de mostrar y crear la ilusión de tridimensionalidad estereoscópica del prototipo y el realismo del mismo, así como, utilizar técnicas que permitan el requerimiento y la manipulación de diversos paquetes de diseño gráfico, multimedia, animación y visualización en 3D y, el uso de software que permita el despliegue estereoscópico.

En el quinto capítulo, se hace un análisis financiero, donde se involucran los costos de los procesos de manufactura estimados y aproximados de cada uno de los elementos, piezas, procesos de fabricación empleados, ensambles, mano de obra, entre otros, que conforman el vehículo FSAE, en torno a las bases establecidas dentro del reglamento y a la normatividad del proyecto, siendo este costeo en moneda extranjera (USD). Se hará el uso de una tabla de comparación de materiales y procesos de manufactura del vehículo Mini-Baja, ya que comparten algunos de los sistemas y componentes comerciales. Se realizará el costo de operación de manufactura y mano de obra total, el tiempo estimado de fabricación del proyecto y el costo total del vehículo. Por último, se desglosa una hoja o ficha técnica de la configuración final que tendría el vehículo FSAE U. N. A. M., involucrando todas las características físicas y mecánicas del mismo.

Al término de este trabajo de investigación, se concluyen los resultados del proyecto y se hace un aporte técnico, práctico y profesional del mismo a la formación del ingeniero, así como las aplicaciones que tiene la realidad virtual en la Ingeniería.

En cada capítulo se hace una breve introducción del tema en estudio, se definen las condiciones y especificaciones que se deben cumplir de acuerdo a las reglas del FSAE, se hace un modelo o una tabla de comparaciones de tal forma que pueda guiarnos en la toma de decisiones.

En general, la idea que se pretende con este proyecto de tesis, es proponer una solución de diseño para el vehículo Fórmula SAE y, que en un futuro “no muy lejano”, este trabajo pueda servir como referencia o guía en el estudio y aplicaciones teóricas, técnicas y prácticas del proyecto, así como en la mejora en los procesos de diseño y fabricación de prototipos como éste, dentro de ésta máxima casa de estudios U. N. A. M. y, de la propia Facultad de Ingeniería; ya que de estos proyectos, se pueden generar nuevos conceptos y prototipos, y por ende, desarrollar tecnología de punta en el área automotriz.



---

# Capítulo 1. ANTECEDENTES DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE Y DEL SISTEMA DE VISUALIZACIÓN CIENTÍFICA DENTRO DEL OBSERVATORIO IXTLI U. N. A. M.

## 1.1. HISTORIA DE FÓRMULA SAE.<sup>[1]</sup>

Cada año la *SAE International (Society of Automotive Engineers International)*, realiza una competencia de autos de carreras tipo Indy Car con el propósito de contribuir a la formación académica de los estudiantes, invitándolos a participar en el diseño y construcción de un vehículo tipo Fórmula; con ello, se busca que los estudiantes, a través de un escenario como la Competencia de Fórmula SAE, muestren sus conocimientos, habilidades, ideas, creatividad e innovaciones para la industria automotriz, recibiendo a cambio toda una gama de experiencias, aprendizaje y sobre todo un acercamiento con las empresas donde en un futuro, al término de su carrera, podrían llegar a desarrollar. La Fórmula SAE, es una competencia que se lleva a cabo en los Estados Unidos de América, en donde participan más de 60 universidades de Canadá, Estados Unidos, México y Puerto Rico, así como también existen otros eventos en Europa (Italia), Sudamérica (Brasil) y Australia.

En la década de 1970, varias universidades comenzaron a patrocinar competencias locales de vehículos todo terreno diseñados por estudiantes. Uno de ellos, Fred Stratton a partir de Briggs & Stratton Corporation; decide establecer una conexión con SAE para apoyar y promover las carreras de Mini Baja. Su éxito convenció a SAE International para apoyar este evento a otras instituciones de ese país. El Proyecto Mini Baja toma su nombre desde la famosa Baja 1000 todo terreno en México. Las primeras competencias de Mini Baja se dan en 1976 y rápidamente llegan a ser una de las más importantes dentro de los proyectos que se realizan en las escuelas participantes. Estos eventos se realizan en tres etapas: la primera, donde se califican pruebas estáticas como diseño, costos y estética; en la segunda etapa, se califican pruebas de desempeño individual para cada vehículo y; en la tercera etapa, se califica la resistencia del vehículo mediante una carrera de resistencia. El punto más importante de esta competencia es el diseño del chasis, suspensión y carrocería, ya que el motor B&S que se utiliza es de sólo 10 [HP], por lo que hay que hacer el vehículo lo más ligero y resistente para su desempeño.

En 1981, participan seis escuelas, pero sólo cuatro se verían reflejadas: Stevens Institute (New Jersey), Universidad de Tulsa (Oklahoma), Universidad de Cincinnati (Ohio) y la Universidad de Austin (Texas). En estas fechas los patrocinadores fueron General Motors Company. En el primer día se califica la “*estética*” y “*la creatividad de diseño e ingeniería del vehículo*”; el siguiente día se dedica a dar puntuación sobre las “*pruebas de desempeño*”, tales como: *aceleración con respecto al peso, maniobrabilidad y ahorro de combustible* y para el tercer día se realiza la “*carrera de resistencia*”, la cual, recibe el doble de puntuación.

---



El primer lugar de la inaugural Fórmula SAE lo obtuvo el equipo del Stevens Institute.



Fig. 1.1.a. Vehículo FSAE del Stevens Institute.



Fig. 1.1.b. Vehículo FSAE de la Universidad de Tulsa.

Las primeras reglas de la FSAE, no requirieron un sistema de suspensión en las competencias, es decir, simplemente eran vehículos tipo karts; pero en 1982 se hacen algunas modificaciones y desde entonces, FSAE requiere suspensión en las 4 ruedas. El ganador de ese año fue la Universidad de Austin (Texas). Además, en ese mismo año tuvo participación la Universidad La Salle (México) siendo una de las atracciones.



Fig. 1.1.c. Vehículo FSAE de la Universidad de Austin, Texas.

Para 1983, la Universidad de Arlington (Texas) hizo un estreno impresionante llevándose el 1<sup>er.</sup> y 3<sup>er.</sup> lugares con motores de 8 [HP] de B&S. El motor variaba en varios vehículos, por ejemplo: un 650 [cm<sup>3</sup>] Kawasaki, un 250 [cm<sup>3</sup>] Kawasaki, un 450 [cm<sup>3</sup>] de Susuki, un 600 [cm<sup>3</sup>] de Honda, dos de 11 [HP] B&S, y dos de 300 [cm<sup>3</sup>] Sachs Wankels.

En 1984, la variedad de motores era muy extensa y variada, así se tenían de 300 [cm<sup>3</sup>] Sachs Wankels, 500 [cm<sup>3</sup>] Yamaha, 400 [cm<sup>3</sup>] Honda, y un 600 [cm<sup>3</sup>] Honda en el vehículo ganador (en ese año fue la Universidad de Houston Texas). En estos primeros años se obtuvo un mejoramiento continuo en la aceleración pero no en la regulación de combustible, pues a los competidores no les importaba sacrificar eficiencia por desempeño, dado que este evento era una competencia de diseño de ingeniería y potencia mecánica y no de habilidades y destrezas del piloto y en la eficiencia de los propios sistemas. Más tarde se agregó una segunda penalización, la que debía evaluarse cada vez que una llanta se levantará del terreno, además, de que se usaran combustibles como Gasolina, Diesel, Metanol y Etanol, los cuales eran los únicos combustibles legales.



Después de tres años, La Universidad de Austin (Texas) cede el turno a sus colegas de Arlington (Texas), se empiezan a modificar nuevamente las reglas; esto causó una gran sacudida en todos los participantes ya que los puntos a revisar incluían los eventos estáticos, así como premios en diversas pruebas usando una escala general de 1000 puntos para toda la competencia. Quizás, el cambio más notable fue la evaluación del informe de costos. En 1984 las reglas establecían simplemente que el costo total del proyecto, excluyendo la labor de los estudiantes, no debía exceder los 2,000.00 \$USD. En 1985, por primera vez, los estudiantes deben hacer un informe para los costos de fabricación de 1,000 unidades. El máximo valor aceptado era de 4,500.00 \$USD por unidad. Las nuevas reglas incluyeron el aumento en la capacidad del motor a los 610 [cm<sup>3</sup>] y una restricción en la toma de aire de 23 [mm].



Fig. 1.1.d. Vehículo FSAE de la Universidad de Arlington, Texas.

Por primera vez la Fórmula SAE se movió de Texas hacia Lawrence Technological University (Michigan), quien patrocinó el evento en dicho campus. Esto ocasionó que las importantes industrias automotrices se interesaran en la competencia y soportaran todos los gastos en 1986. Cuatro de los 15 automóviles en este año usaron turbocargadores y supercargadores; la Universidad de Arlington (Texas) ganó su tercer campeonato después de una dura batalla con la Universidad de Maryland. Este año, la competencia y patrocinadores establecen el otorgamiento de premios retribuidos con dinero (concedido por la Volkswagen de América) con un monto de 1,000.00 \$USD al equipo del primer lugar.



Fig. 1.1.e. Vehículo FSAE de Lawrence Technological University, Michigan.



En el siguiente año, se introduce la inyección de combustible por parte de la Universidad de Maryland y la Universidad de Arlington (Texas) con motores de 600 [cm<sup>3</sup>] Kawasaki Ninja y de 500 [cm<sup>3</sup>] de Honda.



Fig. 1.1.f. Vehículo FSAE de la Universidad de Maryland.



Fig. 1.1.g. Vehículo FSAE de la Universidad de Cornell.

La noticia más grande del año de 1988, fue que se permitió oficialmente el uso de metanol clase M85. Para 1989, se elimina el uso de motores rotativos, se otorgan premios en el diseño en términos de seguridad y el premio del novato del año.

GENERAL MOTORS COMPANY, al ver el gran éxito de la competencia, decide mover la Fórmula SAE del pequeño evento que era de las universidades, a un importante evento respaldado por la industria automotriz; las pruebas estáticas para 1991, tuvieron lugar en el domo de diseño de GM, mientras que las pruebas dinámicas se realizaron en las pistas de prueba Milford. El ganador de la carrera de ese año fue el Tecnológico de Virginia (VT).

En 1995 y 1996, el premio se lo llevó la Universidad de Arlington (Texas), para 1997, el ganador fue la Universidad de Cornell. En 1998, participa el Instituto Tecnológico de Chihuahua como el primer competidor de México de FSAE y en 1999 el premio fue para la Universidad de Akron.



Fig. 1.1.h. Vehículo FSAE de la Universidad de Cornell.



Fig. 1.1.i. Vehículo FSAE del Instituto Tecnológico de Chihuahua.



Durante el 2000, el premio se lo lleva la Universidad A&M de Texas; para el 2001 y 2002, nuevamente el crédito se lo lleva la Universidad de Cornell registrando el mayor número de puntos de toda la historia con un total de 927.619 de 1,000; luego en el 2003 el triunfador fue la Universidad de Wollongong; en el 2004 la Universidad de Cornell vuelve adjudicarse en el trono de primer lugar con 926.59 puntos.



Fig. 1.1.j. Vehículo FSAE de la Universidad de Cornell.



Fig. 1.1.k. Vehículo FSAE de la Universidad de Arlington.

Para el año 2005, las reglas no han variado con lo que respecta al motor, ya que sigue siendo de 610 [cm<sup>3</sup>] o menos, con una toma de aire de 20 [mm] si se usa Gasolina ó 19 [mm] si se usa M-85 ó E-85. En el año 2006 y 2007, se pueden usar motores turbocargados o sobrecargados, la transmisión puede ser de cualquier tipo, el desplazamiento total de la suspensión es de 50 [mm], el sistema de frenos es aplicado en las cuatro ruedas, la estructura debe ser de acero (de acuerdo a las especificaciones), cinturones de seguridad de 5 puntos, equipo contra incendios, las llantas del vehículo pueden ser de cualquier tipo con rines de 205.0 [mm] de diámetro por lo menos.

Para el año 2008 y 2009, se respeta el motor de 610 [cm<sup>3</sup>] o menos, con una toma de aire de 20 [mm] si se usa Gasolina ó 19 [mm] si se usa E-85. Se utiliza combustible de 94 y 100 octanos de Gasolina y E-85 respectivamente; se siguen utilizando motores turbocargados o sobrecargados, la transmisión puede ser de cualquier tipo, el desplazamiento total de la suspensión debe ser de no menos de 50.8 [mm] (2 [inches]). El vehículo estará equipado con un sistema de frenado que opere sobre las cuatro ruedas, con dos circuitos independientes operados por un control o sistema simple; la estructura debe ser de acero, aluminio o de otro material aleado (de acuerdo a las especificaciones); debe contar con cinturones de seguridad de; los neumáticos del vehículo deben ser de dos tipos: para pavimento seco y para pavimento mojado, de cualquier tipo y con rines de 203.2 [mm] de diámetro por lo menos.

Estas son algunas de las características y restricciones más relevantes sobre la competencia y las reglas durante estos años, pero existen otras que no dejan de ser menos importantes, además hay que considerar que cada año se actualiza y modifica el reglamento, por lo que se tienen que revisar perfectamente y con detalle para la competencia vigente. Hasta esta fecha muchas cosas han cambiado en el evento, pero el objetivo y las metas siguen siendo las mismas, ofrecer un escenario para que los estudiantes puedan mostrar sus proyectos, adquirir experiencia, aprender y crear algo nuevo. Todo esto en una misma competencia de autos de carreras.



---

### **1.1.1. REGLAS DEL FÓRMULA SAE.**

El objetivo del Proyecto FSAE, es que los estudiantes de las áreas de ciencias exactas, ingeniería aplicada, investigación y tecnológica, apliquen los conocimientos y habilidades adquiridas dentro de las aulas, con la finalidad de idear, diseñar, fabricar, construir y competir con un pequeño vehículo-prototipo de carreras estilo Fórmula. Este proyecto involucra la máxima flexibilidad en el diseño y libertad para expresar la creatividad e imaginación de cada equipo participante, donde los equipos invierten entre 8 y 12 meses de trabajo en el diseño, construcción, pruebas y preparación de su(s) vehículo(s) antes de la competición, y así, dar la oportunidad de probar y comparar las habilidades de ingeniería con otros equipos de universidades alrededor del mundo, haciendo el proyecto competitivo internacionalmente.<sup>[2]</sup>

El propósito de la competencia, es simular que existe una firma de manufactura automotriz ficticia, en donde se diseña, construye y prueba un vehículo-prototipo para una evaluación de mercadotecnia, como un artículo de producción, venta y comercialización en serie. Además, los vehículos deben tener un alto nivel de equipamiento y desarrollo tecnológico en términos de diseño, aceleración, frenado y manejo.

Los equipos participantes deberán pasar las diferentes pruebas estáticas y dinámicas, para lograr la mejor selección de su(s) vehículo(s), por lo que deben cumplir con los requerimientos impuestos por el reglamento vigente.

### **1.1.2. PRUEBAS A CALIFICAR.**

El vehículo será evaluado en una serie de eventos y pruebas estáticas y dinámicas, incluyendo: una inspección técnica, evaluación de costos, presentación, diseño e ingeniería, pruebas de desempeño individual y una carrera de resistencia en un circuito de carreras para evaluar el alto desempeño del mismo. Estos eventos son evaluados a través de una serie de puntos, para determinar como es el buen desempeño y manejo del vehículo.

En cada prueba, la firma de manufactura ficticia (cada universidad y equipos participantes), debe aprobar el nivel mínimo de acondicionamiento aceptable por el jurado, que es reflejado por medio de las ecuaciones de puntaje marcadas dentro del reglamento.

Las pruebas estáticas y dinámicas, deben sumar un total de 1,000 puntos, que es la máxima calificación en la competencia, así, cada equipo y su(s) vehículo(s) participantes, serán evaluados a través de estos puntajes.



---

A continuación se muestran las diversas pruebas y sus respectivos puntajes a evaluar dentro de la competencia FSAE.<sup>[2]</sup>

**Pruebas Estáticas:**

Inspección Técnica	Sin Puntos
Presentación	75
Ingeniería y Diseño	150
Análisis de Costos	100

**Pruebas Dinámicas:**

Aceleración	75
Skid-Pad	50
Maniobrabilidad	150
Ahorro de Combustible	100
Resistencia	300

---

Total de puntos	1,000
-----------------	-------

**1.1.3. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DEL FÓRMULA SAE.**

Un automóvil de carreras, está constituido por un gran número de mecanismos, donde cada uno de éstos, desempeña una función específica, que en conjunto, establecen el correcto funcionamiento del vehículo independientemente de las exigencias que se tengan en las reglas de fabricación.<sup>[3]</sup>

En la actualidad existe una gran variedad de modelos y aplicaciones para los vehículos, así entonces, existen los vehículos todo terreno, autobuses, camiones, motocicletas, aquellos que se fabrican para las competencias, Grand Prix, Fórmula 1, y los prototipos de Fórmula SAE, que en esencia utilizan los mismos principios de funcionamiento.

Uno de los elementos más importantes del diseño del vehículo Fórmula SAE, es el *Tren Motriz* o también llamado *Planta de Fuerza Motriz*, entendiéndose por éste, aquel sistema del automóvil encargado de proporcionar movimiento mediante fuerza y tracción a un vehículo automotor. *La planta de fuerza motriz, está constituida por el motor, embrague, caja de cambios, árbol de transmisión, diferencial, flechas y llantas.*



---

Por lo que en el presente estudio de investigación, se realizará una selección de cada uno de los elementos del vehículo, para su mejor desempeño en la competencia del Fórmula SAE.

El **MOTOR** tiene como misión transformar la energía química transmitida por medio del combustible, en energía mecánica para generar el movimiento del automóvil. Para lograr esto, se aprovecha la fuerza expansiva de los gases, obtenida al quemar el combustible en el interior de los cilindros, transformándolo con la ayuda de las bielas y el cigüeñal en movimiento rotatorio; este movimiento se transmite a las ruedas que hacen desplazar al vehículo. El combustible es aspirado hasta el carburador o sistema de inyección por medio de una bomba mecánica o eléctrica y posteriormente se mezcla con la entrada de aire para realizar la combustión dentro de los cilindros del motor. A consecuencia de esta combustión, el incremento de temperaturas dentro de los cilindros es muy elevada y por ello es necesario un sistema de enfriamiento para regular la temperatura óptima de trabajo; esta refrigeración se logra, haciendo pasar aire o agua fría alrededor de los cilindros del motor eliminando cierta cantidad de calor. Además, existe un sistema de lubricación (aceite) que previene el desgaste de las piezas que existen en el interior del motor. El giro del motor puede variarse con la ayuda de un pedal acelerador, si se pisa el pedal se acelera el motor, si se mantiene suelto el motor girará en ralentí.<sup>[4]</sup>

El **EMBRAGUE** transmite el giro del motor hacia las ruedas, para ello se aprovecha la fricción y adherencia de algunos materiales y así se logra una unión rígida entre el motor y la caja de velocidades, por lo tanto, cuando se acciona el pedal de embrague, el vehículo queda desembragado y podemos hacer el cambio de velocidad en ese instante, aumentando o disminuyendo la relación de transmisión.

La **CAJA DE VELOCIDADES**, varía la velocidad del vehículo con un arreglo a las necesidades de la marcha. Para conseguir esto, se dispone de un arreglo de engranes que se ponen en contacto de diferentes formas, reduciendo o aumentando el giro del motor según las relaciones que se establezcan. Por ello, el estudio de la mecánica nos dice que, en todo trabajo, lo que se gana en par motriz se pierde en velocidad y viceversa. En nuestro caso se requiere ganar velocidad y por ello tenemos que seleccionar una caja de velocidades que nos permita tener un arreglo adecuado en nuestros engranes. Para conseguir tal fin, los vehículos Fórmula SAE suelen disponer de cuatro o cinco relaciones de marcha hacia el frente.

El **ÁRBOL DE TRANSMISIÓN**, cumple con la función de transmitir el giro del grupo de engranes de la caja de velocidades al diferencial o par de reducción y, éste, lo constituyen por lo general dos tubos de acero unidos por juntas que van unidas a la salida de la caja de velocidades en un extremo y, en el otro, van unidos a la entrada del diferencial. Estas juntas deben tener la propiedad de absorber las oscilaciones que provienen del diferencial, por lo que deben ser elásticas, ya que de ser rígidas, estas pueden romperse con facilidad.<sup>[3]</sup>



---

Además, el vehículo debe tener un **SISTEMA DE FRENADO** que nos ayudará a disminuir la velocidad y, llegar si es necesario, a su detención total; este sistema es accionado con un pedal que se coloca en el interior del vehículo, casi siempre cerca del pedal de embrague. Al pisar el pedal del freno se activa el dispositivo de frenado (bomba de frenos) que regula la velocidad de giro de las llantas, este sistema debe ser diseñado de tal forma que no se produzca un frenado muy brusco que pueda producir daño al conductor.<sup>[5]</sup>

Otro de los sistemas que componen al automóvil, es la **SUSPENSIÓN**, que proporciona la comodidad dentro del habitáculo y el viaje del conductor, además contribuye a mejorar la estabilidad del vehículo. Éste sistema, está compuesto principalmente de neumáticos, ballestas o muelles helicoidales y los amortiguadores. Los neumáticos absorben las pequeñas irregularidades del terreno, los muelles absorben las grandes vibraciones y los amortiguadores frenan las oscilaciones de los muelles, es por ello, que en las reglas se establece una relación en la suspensión de por lo menos 50.8 [mm] (2 [inches]) de desplazamiento, por lo que se pretende diseñar aquella que nos ofrezca la mayor rigidez y el mejor control en la dirección del vehículo.<sup>[6]</sup>

La **DIRECCIÓN**, es aquel sistema que nos ayuda a tener el control del vehículo, este control se logra con la ayuda de un volante y un mecanismo que transforme el movimiento circular (generado por el volante) en movimiento angular hacia las ruedas delanteras o también llamadas directrices. El mecanismo de la dirección, debe cumplir con el requisito, de dar a las ruedas delanteras la orientación requerida por el conductor, de tal forma que en una curva, la llanta exterior se adelante a la llanta interior por el mayor recorrido que se tiene.<sup>[6]</sup>

Además, el vehículo Fórmula SAE, debe tener una **ESTRUCTURA** o **CUERPO** de protección hacia el piloto (chasis y carrocería) y otra que soporte al motor, la caja de velocidades, el diferencial, la suspensión y los neumáticos (bastidor o monocoque). Por lo que la estructura, debe diseñarse de tal manera que resista al impacto en caso de un choque y absorber la energía para que el conductor no sufra daño alguno; por ello es importante la correcta selección del material que se va a utilizar para tales fines. Es importante hacer mención que al seleccionar dichos materiales, hay que tener en mente que se requiere mantener el menor peso posible para obtener mayor potencia de arranque y un mejor aprovechamiento del motor.<sup>[7]</sup>

Otro aspecto a considerar, es el diseño de la **CARROCERÍA** y su **AERODINÁMICA**, en donde, además del Aspecto Estético, la Aerodinámica del Vehículo, juega un papel importante en el movimiento del vehículo, el cual debe vencer las fuerzas o resistencias que se oponen al camino, de tal forma que sean mínimas, ya que a la misma potencia que ofrece el motor, el consumo de combustible se reduce y la eficiencia del vehículo mejora notablemente. La aerodinámica debe tener un buen estudio y análisis de mecánica de fluidos para su evaluación y para aprovechar al máximo nuestro motor.<sup>[8]</sup>



#### 1.1.4. PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL DEL VEHÍCULO FSAE.

En la actualidad, la fabricación de vehículos a crecido en forma exponencial, se han diseñado y construido sistemas muy eficaces que hacen que los motores sean más pequeños, pero más potentes y que sean menos ruidosos, se han incorporado sistemas de calefacción que hacen más confortable el viaje, asientos ergonómicos sofisticados, sistemas de transmisión que pueden ser manuales y automáticos al mismo tiempo, sistemas economizadores de combustible, sistemas de frenado eficientes, así como vehículos que presentan gran estabilidad en su trayecto. Por lo tanto, todos estos y otros desarrollos en el área automotriz, han sido diseñados, probados y desarrollados en la creación de prototipos como el Vehículo Fórmula SAE.

El objetivo del presente trabajo, es *Diseñar los Sistemas y Elementos que conforman a un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula*, de acuerdo a las especificaciones y características técnicas descritas dentro del reglamento de FSAE (Fórmula SAE). Para ello, es importante describir cuales serán los pasos a seguir en la etapa de nuestro diseño.

Entendemos por **Diseño**, la concepción y formulación de un plan para satisfacer las soluciones más apropiadas de una necesidad humana. Por otra parte, **Diseño Mecánico** es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica como piezas, mecanismos, máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos, que en conjunto ayudan a satisfacer dicha necesidad.

Para que nuestro Diseño Conceptual sea el más adecuado, es necesario llevar a cabo primeramente, un *diagnóstico* que aclare y delimite el problema, conociendo las diversas variables que intervienen y sus relaciones causa-efecto. Con base en esto, debe dimanarse a efectuar un *proceso de diseño*, que busque definir la mejor solución con todos los detalles y especificaciones necesarios, para que pueda conceptuarse e idearse a la realidad; ya que estas dos funciones centrales, serán útiles en el planteamiento, formulación y en la toma de decisiones de nuestro problema.<sup>[9]</sup>

El Diseño también, por otra parte, es un proceso iterativo, ya que se propone una solución, se optimiza y, si no se satisface la necesidad, se da otra posible solución hasta generar la más adecuada. *El Proceso en las Etapas o Fases de Diseño* que seguiremos en el presente trabajo de investigación, están basadas en un *Método Tradicional de Diseño en Ingeniería* que describiremos a continuación.<sup>[10]</sup>

- A) **Reconocimiento de la Necesidad.** En ésta primera etapa, se definen e identifican las necesidades del diseño: ¿Qué se va diseñar?, ¿Para qué? y ¿Cuál será su utilidad?
- B) **Definición del Problema.** En ésta etapa del diseño, se identifican las condiciones, especificaciones o limitaciones del sistema que hay que diseñar para satisfacer la necesidad.



- C) *Síntesis*. Se realiza una síntesis de la solución al problema que satisfaga las condiciones del problema.
- D) *Análisis y Optimización*. Se analiza y optimiza la solución de acuerdo a las limitaciones del problema.
- E) *Evaluación*. En este punto se evalúa mediante prototipos y modelos, si el diseño es acertado, si cumple con las necesidades y especificaciones, si es competitivo y sobre todo si es confiable y económico.
- F) *Presentación*. Es la comunicación de la solución a otras personas. Esta comunicación se expresa de forma escrita, oral y gráfica.

Para entender el procedimiento que seguiremos en nuestra etapa de diseño, veremos la representación del proceso en un diagrama de flujo, el cual nos describe los pasos que se siguen en las fases de diseño, desde el reconocimiento de la necesidad hasta la presentación de los resultados y visualización del prototipo FSAE.

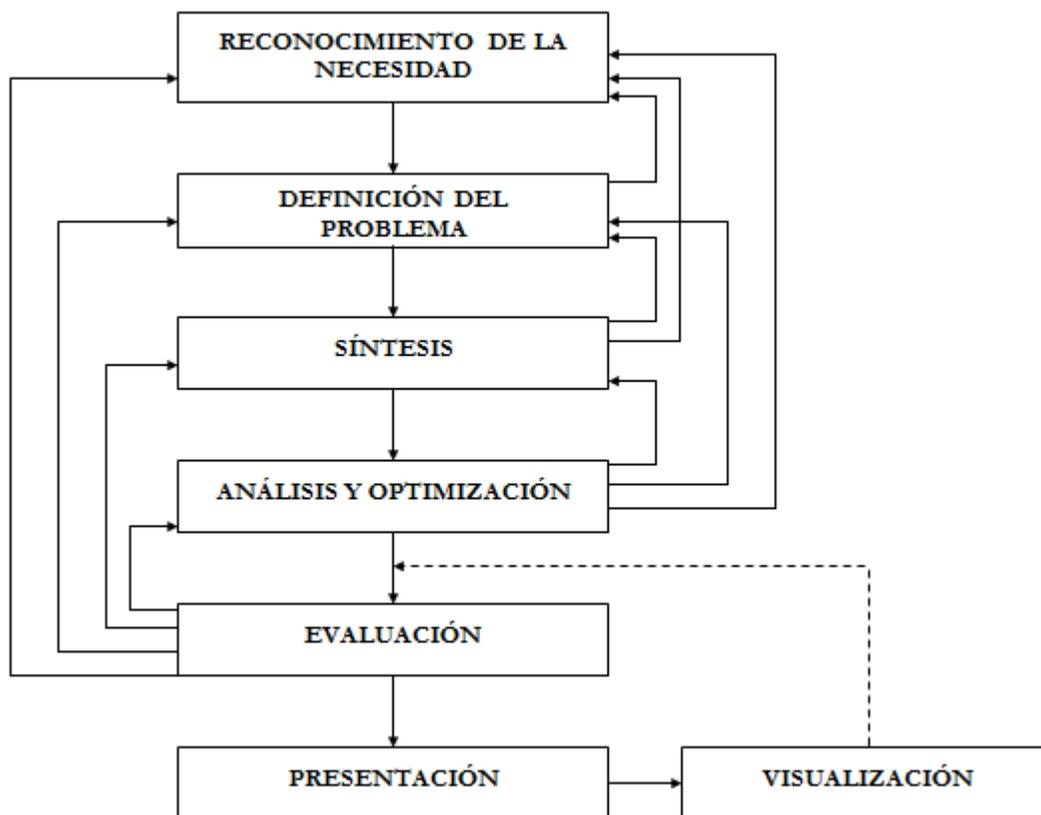


Fig. 1.1.4. Metodología de las Fases de Diseño Tradicional y Visualización del Prototipo.



---

Para llevar a cabo el **Diseño de los Sistemas** que componen al Vehículo, utilizaremos la **Metodología de Diseño Tradicional** que hemos descrito anteriormente, ya que así, será más sencillo entender cada una de las fases y etapas en los procesos de diseño y, comparar los resultados obtenidos mediante un Análisis, Optimización y Evaluación del prototipo diseñado, y así, poder llevar a cabo la Presentación General, Visualización Estereoscópica y Fabricación del Vehículo FSAE.

Como ya hemos mencionado, el *Diseño* tiene un *Propósito Concreto: la obtención de un resultado final, al que se llega mediante una acción determinada o por la creación de algo que tiene realidad física*. En dicho diseño, se pasa por varios procesos iterativos, donde se evalúan los resultados y se regresa a una etapa anterior del proceso; esto nos ayudará a sintetizar varios componentes de un sistema, analizarlos y optimizarlos para después regresar a la síntesis y ver que efectos presentan estos resultados con las diferentes partes del sistema. Para el análisis y la optimización, será necesario muchas veces hacer uso de modelos matemáticos, ya que esto nos dará una idea aproximada del modelo que más se acerca al comportamiento físico real del sistema analizado.

En nuestro diseño, la **NECESIDAD** es *definir las características de los sistemas que componen un vehículo monoplaza de pista para competencia*; el **PROBLEMA** sería *encontrar el diseño de los mejores sistemas del automóvil que cumpla con las especificaciones y condiciones que establece la FSAE y, además, sea competitivo en todos sus aspectos*. Por otro lado, la **SÍNTESIS** de la mejor solución no debe hacerse sin antes realizar un **ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN**; *se deben comparar que modelos, mecanismos, piezas, dimensiones y dispositivos satisfacen las especificaciones que se nos imponen*. El siguiente paso, será entonces, la **EVALUACIÓN** de cada sistema del vehículo y *determinar si es de óptima fabricación, funcional, confiable, de fácil mantenimiento, económico, y sobre todo si competirá con éxito en la carrera*.

Para *finalizar con el proceso de diseño*, será necesario *hacer una PRESENTACIÓN escrita, comunicarla para ver si es viable su fabricación y crear un bosquejo del que pudiera ser un buen prototipo para la competencia del FSAE*.

Es por ello, que a partir de la **METODOLOGÍA** del *diseño tradicional* y de las *técnicas, herramientas y equipo de realidad virtual*, podremos **VISUALIZAR** una *propuesta de innovación y desarrollo tecnológico en el área automotriz, utilizando la aplicación de tecnologías y equipo de observación científica de objetos en tercera dimensión (3D) dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.*

Se podrá mostrar una aproximación que tendría el prototipo final en escala real [1:1] y de los diferentes sistemas que lo conforman, experimentando una sensación de acercamiento (**inmersión**) del mundo virtual al mundo real, a través de las características y propuestas de diseño que podrían llevarse a cabo dentro de una empresa o firma imaginaria de manufactura donde se lleve a cabo la fabricación y producción de vehículos de carreras, como lo establece el reglamento FSAE.



---

## 1.2. HISTORIA DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO U. N. A. M.

Desde la adquisición de la primera computadora en 1958 por parte de la U. N. A. M. (Un sistema IBM 650), considerada el primer equipo de cómputo en México, existió una demanda creciente de conocimientos y especialización en lo relativo a las tecnologías de cómputo en la U. N. A. M. Aunque aquella computadora fue instalada en el Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería, a los pocos años el Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (C. I. M. A. S.) fue responsable de la operación de los primeros equipos.

Con el paso del tiempo, las necesidades de diversas áreas de la universidad, y en especial de sus investigadores, obligaron a la creación de una entidad que administrara los recursos centrales de cómputo, más allá de su afiliación con una sola área del conocimiento. De esta forma se creó el Programa Universitario de Cómputo (P. U. C.).<sup>[1]</sup>

- **Programa Universitario de Cómputo (P. U. C.).**

El 14 de octubre de 1981, el entonces Rector de la U. N. A. M., el Dr. Octavio Rivero Serrano, inauguró la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (D. G. S. C. A.), edificio que ocupa actualmente la D. G. T. I. C., con cuatro áreas principales: Cómputo para la Docencia, Cómputo para la Administración Académica, Cómputo para la Investigación y Cómputo para la Administración.

- **Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (D.G.S.C.A.).**

El 14 de mayo de 1985, el P. U. C. se transformó en la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (D. G. S. C. A.) debido al crecimiento de los servicios derivados de las tecnologías de información y comunicación, y por ende, su mejor gestión desde una dependencia de la administración central de la Universidad.

En un principio formaba parte de la entonces denominada Secretaría de Servicios Académicos, para después integrarse a la estructura de la Secretaría General. Hasta 2007, la D. G. S. C. A. estaba integrada por cuatro direcciones de área (Dirección de Cómputo para la Docencia, Dirección de Cómputo para la Investigación, Dirección de Sistemas y Dirección de Telecomunicaciones) además de una Coordinación (Servicios Educativos en RedUNAM - SERUNAM).



- **Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (D.G.T.I.C.).**

Por acuerdo del Rector de la U. N. A. M., el Dr. José Narro Robles, el 27 de septiembre de 2010 la D.G.S.C.A. se transformó en la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (D.G.T.I.C.), debido al crecimiento tecnológico institucional que no sólo comprende lo relativo a cómputo, sino también a la convergencia de tecnologías digitales que permiten la comunicación entre los universitarios y la generación y acceso a múltiples tipos de información en los más diversos formatos.

- **Estructura de la D. G. T. I. C.**

Para el cumplimiento de sus objetivos y funciones, la D.G.T.I.C. está organizada en las siguientes áreas que dependen de la Dirección General:

1. Dirección de Telecomunicaciones (D.T.).
2. Dirección de Docencia en Tecnologías de Información y Comunicación (D.D.T.I.C.).
3. Dirección de Colaboración y Vinculación (D.C.V.).
4. Dirección de Sistemas y Servicios Institucionales (D.S.S.I.).
5. Unidad de Investigación, Desarrollo e Innovación (U.N.I.D.I.)
6. Coordinación del Programa h@bitat Puma.
7. Unidad Administrativa.

### **1.2.1. OBSERVATORIO DE VISUALIZACIÓN DE LA U. N. A. M. “IXTLI”.**

El Observatorio de Visualización de la U. N. A. M. “Ixtli”, es un conjunto de recursos humanos, servicios e infraestructura, especializados en el desarrollo e integración de ambientes virtuales, visualización tridimensional y procesamiento visual de la información.<sup>[12]</sup>

La Sala Ixtli tiene como objetivo poner a disposición de la comunidad universitaria, entidades públicas, entidades privadas y sociedad en general; la infraestructura y recursos humanos especializados en el empleo y desarrollo de tecnología de ambientes virtuales y procesamiento visual de la información, en beneficio de la docencia y la investigación en las distintas áreas del conocimiento.

El Observatorio de Visualización de la U. N. A. M., depende de la Secretaría General a través de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (D. G. T. I. C.).



El Observatorio Ixtli, es un auditorio de realidad virtual inmersiva, que cuenta con infraestructura de alto desempeño. Entre los elementos más representativos que la conforman, está el sistema de cómputo de alto rendimiento para cálculos gráficos y numéricos, audio envolvente y un despliegue panorámico curvo que facilita la visualización estereográfica de mundos artificiales. Este recinto es un entorno idóneo para el trabajo docente y de investigación, ya que permite explorar y experimentar situaciones inaccesibles que son difíciles de manipular por métodos comunes.

A través de la sala Ixtli, se facilita la realización de proyectos de innovación tecnológica, con la finalidad de mejorar la calidad y la pertinencia de las actividades docentes en la U. N. A. M. Con esto se ven enriquecidos la investigación y el desarrollo, la docencia y el entrenamiento, así como la difusión de la cultura.

Fue creado inicialmente en 2004 como una sala con tecnología de realidad virtual inmersiva (Sala Ixtli). Después de 8 años de operación y de la iniciativa de la Universidad de incorporar nuevas tecnologías, así como de la emisión de un acuerdo de reestructura<sup>[13 y Apéndice: A.1.]</sup>, es ahora una entidad de servicios que pone a disposición de la comunidad universitaria, entidades públicas, entidades privadas y sociedad en general; la infraestructura y recursos humanos especializados en el empleo y desarrollo de tecnología de ambientes virtuales y procesamiento visual de la información, en beneficio de la docencia y la investigación en distintas áreas del conocimiento.

Este importante y versátil recurso universitario, permite impulsar el trabajo multidisciplinario en actividades de enseñanza e investigación, al proporcionar herramientas de realidad virtual, visualización y simulación que enriquecen las labores de alumnos, profesores e investigadores, facilitando la comprensión y análisis de temas complejos que requieren de gran capacidad de procesamiento gráfico y recursos visuales.

El Observatorio de Visualización de la U. N. A. M. “Ixtli”, es administrado por la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (D. G. T. I. C.) y tiene su sede en las instalaciones del edificio principal en Ciudad Universitaria.

### **1.2.2. SERVICIOS DEL OBSERVATORIO DE VISUALIZACIÓN IXTLI.**

La Sala Ixtli es un espacio de encuentro multidisciplinario de la U. N. A. M., la cual muestra el despliegue e interacción con elementos tridimensionales y en especial la realidad virtual inmersiva. Estos elementos tridimensionales, son herramientas que facilitan la comprensión de fenómenos y conceptos relacionados con estructuras complejas, a través del despliegue de software especializado para cada campo de investigación.



Cuenta con un sistema de realidad virtual inmersiva mediante el despliegue estereoscópico de contenidos tridimensionales de su acervo, proporciona acceso a este recurso a profesores, investigadores y alumnos de la U. N. A. M., Instituciones incorporadas e Instituciones externas en las modalidades de demostración, impartición de clases, sesiones de trabajo, conferencias, seminarios, exámenes profesionales y exámenes de grado. [Apéndice: A.2.]

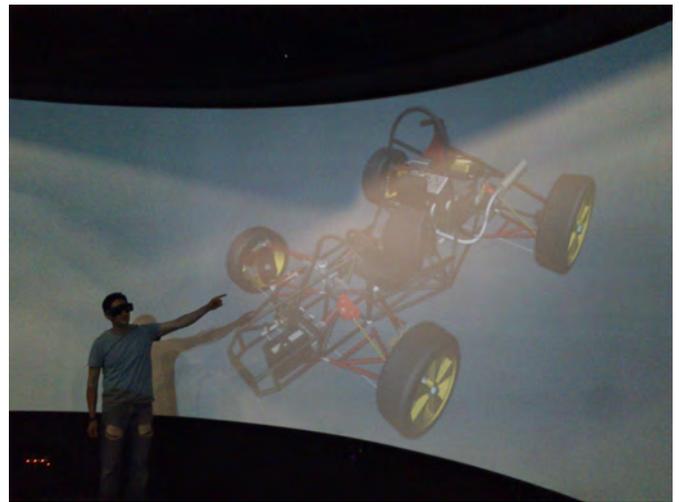
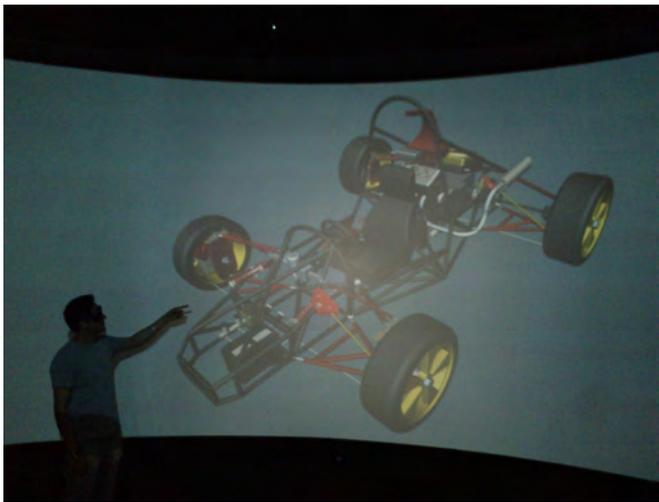


Fig. 1.2.2. Visualización e Interacción Estereoscópica de un Objeto en 3D (Fórmula SAE) dentro de la Sala Ixtli.



- 
- **El Observatorio de Visualización de la U. N. A. M., presta los siguientes servicios:**
    - a. Desarrollo de proyectos de integración de ambientes virtuales y de visualización.
    - b. Uso de la sala con tecnología de realidad virtual inmersiva (Sala Ixtli), ubicada en las instalaciones de la D. G. T. I. C.
    - c. Asesorías especializadas para la integración de ambientes virtuales y procesamiento visual de información.
    - d. Reconstrucción e impresión tridimensionales.
    - e. Capacitación especializada en integración de ambientes virtuales y visualización.
    - f. Apoyo a proyectos de docencia e investigación.
  
  - **Además, el Observatorio cuenta con los siguientes recursos e infraestructura:**
    - a. Una sala denominada *Sala Ixtli*, ubicada en las instalaciones de la D. G. T. I. C., que integra tecnología de realidad virtual inmersiva, sistema de videoconferencias, Access Grid e Internet 2.
    - b. Una impresora y un escáner tridimensionales.
    - c. Un Departamento de Realidad Virtual con recursos humanos, equipo y programas de cómputo especializados.
    - d. Un Departamento de Visualización con recursos humanos, equipo y programas de cómputo especializados.
    - e. Un Departamento de Administración de servicios y proyectos.
    - f. Un área de postproducción de contenidos 3D con recursos humanos, equipo y programas de cómputo especializados.



---

## Referencias Bibliográficas.

- [1] SAE International, ***Competition History of FSAE 1981-2007***, 2012.  
<http://www.sae.org>  
<http://www.sae.org/students/collegiate/newletters.htm>  
<http://www.sae.org/servlets/index>
- [2] SAE International, SAE Student Central, ***FSAE 2011-2012 Rules***, 2012.  
<http://www.sae.org>  
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>  
<http://www.formulastudent.com/>
- [3] Cascajosa, Manuel, ***Ingeniería de Vehículos: Sistemas y Cálculos***, Tébar, 2<sup>a</sup> Edición, 2000. ISBN 84-95447-06-1.
- [4] Ferguson, Colin R., ***Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences***, John Wiley & Sons, Inc., 1986. ISBN 0-471-88129-5.
- [5] Breuer, Bert J. y Dausend, Uwe, ***Advanced Brake Technology***, Paperbound, 2003. ISBN- 0: 0-7680- 247-3.
- [6] Howard, Geoffrey., Whitehead, John Peter y Bastow, Donald, ***Car Suspension and Handling***, Casebound, 2004. 4<sup>th</sup> Edition. ISBN- 0: 0-7680-0872-7.
- [7] Reimpell, J., Stoll, H. y Betzler, J. W., ***The Automotive Chassis***, Hardbound, 2001. ISBN- 0: 0-7680-0657-0.
- [8] Milliken, William F. y Milliken, Douglas L., ***Race Car Vehicle Dynamics***, SAE International, Warrendale, PA. 2007.
- [9] Reséndiz Núñez, Daniel, ***El Rompecabezas de la Ingeniería. ¿Por qué y Cómo se Transforma el Mundo?***, Fondo de Cultura Económica, S. E. P., C.O.N.A.C.y.T., México, 2008.
- [10] Shigley, Joseph Edward, ***Diseño en Ingeniería Mecánica***, McGraw-Hill, 5<sup>a</sup> Edición, 1990.



- [11] U. N. A. M., **D. G. T. I. C.**, México, 2012.  
<http://www.tic.unam.mx/>
- [12] U. N. A. M., **Observatorio de Visualización Científica (Sala Ixtli)**, México, 2012.  
<http://www.ixtli.unam.mx/>  
<http://sites.google.com/site/rvunam>
- [13] Acuerdo: Reestructura de la Organización y Objetivos del Observatorio de Visualización de la U. N. A. M. (Sala IXTLI). Gaceta U. N. A. M., 11 de agosto de 2008.

## Referencias de Imágenes.

- [1] SAE International, **Competition History of FSAE 1981-2007**, 2012.  
<http://www.sae.org>

Fig. 1.1.a. Stevens Institute, New Jersey, U. S. A.

Fig. 1.1.b. University of Tulsa, Oklahoma, U. S. A.

Fig. 1.1.c. University of Austin, Texas, U. S. A.

Fig. 1.1.d. y k. University of Arlington, Texas, U. S. A.

Fig. 1.1.e. Lawrence Technological University, Michigan, U. S. A.

Fig. 1.1.f. Maryland University, U. S. A.

Fig. 1.1.g., h. y j. Cornell University, U. S. A.

Fig. 1.1.i. Instituto Tecnológico de Chihuahua, Chihuahua, México.

- [2] Fig. 1.1.4. Shigley, Joseph Edward, **Diseño en Ingeniería Mecánica**, McGraw-Hill, 5ª Edición, 1990.

[3] U. N. A. M., **Observatorio de Visualización Científica (Sala Ixtli)**, México, 2012.

Fig. 1.2.2. Sala Ixtli, Participante Inmerso (David Francisco Ramírez Muñoz), C. U., México.



---

## Capítulo 2. PROPUESTA DE SISTEMAS PARA EL VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE.

El objetivo de la competencia y del propio proyecto FSAE, es diseñar y construir un vehículo-prototipo de carreras estilo Fórmula, el cual, involucra la aplicación de los conocimientos y habilidades teóricas y prácticas, así como el fortalecimiento de los conocimientos técnicos y tecnológicos. Con ello, se pretende involucrar al estudiante en la aplicación de conocimientos, habilidades, ideas, creatividad, diseño e innovaciones para la industria automotriz, recibiendo a cambio toda una gama de experiencias, aprendizaje y sobre todo un acercamiento con las empresas donde en un futuro, al término de su carrera, podrían llegar a desarrollar.

Las consideraciones y restricciones del reglamento FSAE, hacen competitivo al proyecto con otras universidades, es decir, el objetivo del proyecto, es desarrollar un prototipo de competencia de pista, que integre los conocimientos, tecnología, habilidades y destrezas adquiridas en el transcurso de la carrera, esto ayuda a formar experiencia, participación, trabajo en equipo y liderazgo dentro del proyecto y en la vida profesional.<sup>[1]</sup>

En éste segundo capítulo, el presente trabajo de investigación, pretende definir una propuesta en las características de los diferentes Sistemas que componen a un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, aplicando los conceptos teóricos que involucran el estudio de un automóvil, así como los sistemas que lo componen, definiendo y planteando, algunas propuestas para el análisis de los sistemas, a través del estudio de la dinámica del vehículo y las ecuaciones de movimiento que intervienen en cualquier vehículo automotor.

Como es el caso de la mayoría de los vehículos participantes y, al ser un Vehículo de Carreras tipo Fórmula, la configuración de diseño establecida para el vehículo FSAE, deberá ser con un motor en posición trasera dispuesto en forma transversal, acoplado con un conjunto de transmisión manual, con la finalidad de trasladar paralelamente el movimiento que recibe directamente del motor, hacia la caja de cambios y haciéndolo llegar a las ruedas a través del árbol de transmisión; además, incorpora un sistema de suspensión independiente delantero y trasero de tipo SLA (Short-Long Arm) y un juego de amortiguación con balancines y rótulas de empuje; incluye un sistema de dirección de tipo piñón y cremallera y un sistema de frenos de disco independientes; por último, debe contar con un armazón o estructura tubular rígida, de material y diseño libres, permitiendo resguardar e incorporar todos los sistemas antes mencionados, cumpliendo con los estándares de funcionalidad permisibles dentro del reglamento. Aunado, al caracterizarse como vehículo de carreras, debe poseer una coraza aerodinámica y un diseño deportivo y estético en la carrocería, que proteja los dispositivos internos del mismo, absorba la energía en un impacto y cubra la cabina de mandos del piloto.

A continuación se muestra la configuración de los diferentes sistemas que incluye el vehículo FSAE.

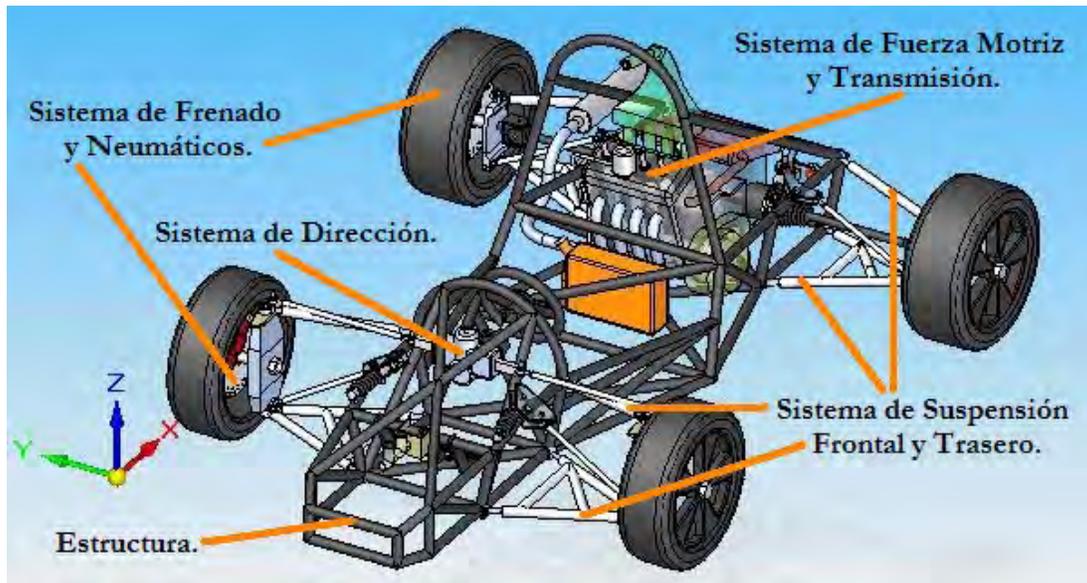


Fig. 2.a. Diagrama de Ubicación de los Sistemas del Vehículo de Carreras FSAE.

*Nota:* Dentro de este Trabajo de Tesis, se hace referencia únicamente, al diseño de los diferentes sistemas que integran al vehículo FSAE, realizando un estudio completo y brindando varias posibles propuestas y posibilidades para su configuración; ya que por ser un vehículo tan complejo por el número de elementos que posee, al ser un proyecto tan extenso y, para poder llevar a cabo el diseño conceptual a una propuesta definitiva, se deberá realizar un estudio más exhaustivo y analítico de cada uno de ellos.

Para encontrar las relaciones de transmisión adecuadas, en cada situación de desempeño del vehículo, es conveniente que se analicen las *Fuerzas que se Oponen a su Movimiento*. Esto se verá con más detalle en el *Estudio del Comportamiento Dinámico del Vehículo* desglosado en la siguiente sección.

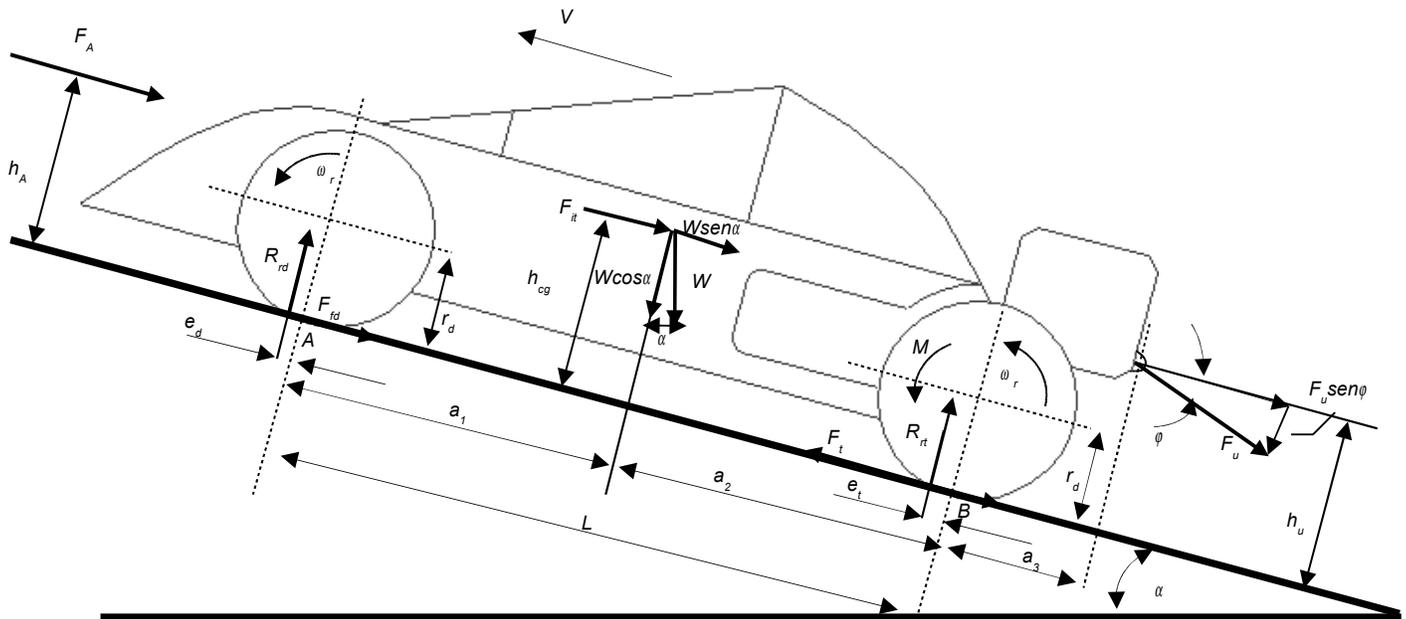
## 2.1. ESTUDIO DE LA DINÁMICA DEL VEHÍCULO.

### 2.1.1. DINÁMICA DEL VEHÍCULO.

Para atacar el *Estudio del Comportamiento Dinámico del Vehículo*, es necesario establecer algunas condiciones de trabajo que intervienen dentro de los sistemas del mismo y, analizar las *Fuerzas que se Oponen a su Movimiento*. Esto, en cada situación de desempeño del vehículo, por lo que es necesario conocer la fuerza de resistencia del aire, las fuerzas de inercia que incluyen los elementos mecánicos del mismo, la fuerza tractiva, la fuerza de adherencia de los neumáticos, la resistencia al camino, entre otras.



En el siguiente Diagrama de Cuerpo Libre, se muestran las fuerzas y momentos que actúan sobre un vehículo con tracción trasera, que se mueve por una pendiente con velocidad variable y arrastra un remolque con Fuerza de Tiro  $F_u$ .



Donde:

- $F_u$  - Fuerza de Tiro (Arrastre).
- $F_A$  - Fuerza de Fricción (Resistencia del Aire).
- $F_t$  - Fuerza Tractiva.
- $F_{it}$  - Fuerza de Inercia Total del Vehículo.
- $F_c$  - Fuerza de Oposición al Camino.
- $F_f$  - Fuerza de Resistencia al Rodamiento.
- $R_{rd}, R_{rt}$  - Fuerzas de Reacción del Camino de las Ruedas Delanteras y Traseras respectivamente.
- $V$  - Velocidad del Vehículo.
- $W$  - Peso Total del Vehículo.
- $g$  - Aceleración Gravitacional =  $9.81 [m/s^2]$ .
- $g$  - Aceleración Gravitacional (Ciudad de México) =  $9.78 [m/s^2]$ .
- $L$  - Distancia entre Ejes.
- $h_{cg}$  - Altura del Centro de Gravedad.
- $r_d$  - Radio Dinámico de la Rueda.
- $\omega_r$  - Velocidad Angular de la Rueda Motriz.
- $M$  - Par o Momento de la Rueda Motriz.
- $i_t$  - Relación de Transmisión Total del Sistema de Transmisión del Vehículo.



De este diagrama, puede despreciarse la resistencia debido a la fricción en los cojinetes de la rueda, ya que son mínimas y, considerar que el vehículo se mueve sobre un camino rígido, ya que la deformación de éste con respecto a la de las llantas, es despreciable.

Tenemos que las resistencias que debe vencer el automóvil durante su movimiento, se pueden dividir en:<sup>[2]</sup>

- **Fuerzas de Inercia.**
- **Resistencia del Camino.**
- **Fuerza Tractiva.**
- **Fuerza de Adherencia.**
- **Resistencia del Aire.**
- **Fuerza de Tiro.**

En la siguiente sub-sección, estudiaremos el comportamiento físico de la resistencia y momentos de cada una de estas fuerzas involucradas, en la dinámica del vehículo por separado.

### 2.1.1.1. FUERZAS DE INERCIA.

Para que el automóvil pueda moverse, lo primero que se tiene que vencer son las fuerzas de inercia de todas las piezas que componen a éste. Se entiende por **Fuerza de Inercia**, a la resistencia que opone todo cuerpo al movimiento, ya sea que éste se encuentre en reposo o con determinada velocidad.

Para entender mejor el *Análisis de las Fuerzas de Inercia*, dividiremos todas las masas en dos grupos, como se define a continuación:

- 1.- Se encuentran todas las masas, que se mueven en conjunto con la misma velocidad del vehículo.
- 2.- Se encuentran todas las masas, que a pesar de estar moviéndose junto con el automóvil, éstas desarrollan movimientos giratorios sobre algún eje. Estos mecanismos se encuentran en el motor y en el sistema de transmisión (pistones, manivelas, bielas, cigüeñal, volante de inercia, embrague, caja de cambios, árboles de transmisión, diferencial y semiejes de las ruedas).

Para el cálculo de las Fuerzas de Inercia del primer grupo, donde las masas se encuentran en movimiento, a la misma velocidad del vehículo, sabemos que de la Segunda Ley de Newton se tiene que:

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots (2.1.1.1.a.)$$



Y por la Ley de la Gravitación tenemos que:

$$W = mg \quad \dots\dots\dots (2.1.1.1.b.)$$

Por lo tanto, la *Fuerza de Inercia de las Masas que se encuentran en movimiento junto con el vehículo a una velocidad V(t)*, puede calcularse de la siguiente forma:

$$F_i = \frac{W}{g} \times \frac{dV}{dt} \quad \dots\dots\dots (2.1.1.1.c.)$$

Para el cálculo de las *Fuerzas de Inercia de las Masas* que se encuentran girando sobre su eje tenemos:

- a) Para el Motor: El Par de Inercia debido al movimiento de las masas del motor, se puede reducir al eje de las ruedas motrices con la relación de transmisión que se tenga en ese momento, esto es:

$$P_i' = \frac{I_m}{i_t^2} \times \frac{d\omega_r}{dt} \quad \dots\dots\dots (2.1.1.1.d.)$$

La fuerza en la periferia de las ruedas, provocado por este momento es:

$$F_i' = \frac{P_i'}{r_d} = \frac{1}{r_d} \times \left( \frac{I_m}{i_t^2} \times \frac{d\omega_r}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots (2.1.1.1.e.)$$

- b) Para el Sistema de Transmisión: El Par de Inercia debido a las masas del sistema de transmisión con movimiento giratorio, así como el de las ruedas será:

$$P_i'' = (I_{rd} + I_{rt}) \frac{d\omega_r}{dt} + \frac{d\omega_r}{dt} \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \quad \dots\dots\dots (2.1.1.1.f.)$$

La fuerza equivalente a este par en la periferia de la rueda es:

$$F_i'' = \frac{P_i''}{r_d} = \frac{1}{r_d} \left( (I_{rd} + I_{rt}) \frac{d\omega_r}{dt} + \frac{d\omega_r}{dt} \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2.1.1.1.g.)$$



Donde:

$I_m$  - Momento de Inercia de las Masas del Mecanismo del Motor [kg-m-s<sup>2</sup>].

$I_{rd}, I_{rt}$  - Momentos de Inercia de la rueda delantera y trasera, respectivamente [kg-m-s<sup>2</sup>].

$I_n$  - Momento de Inercia de una parte cualquiera n del Sistema de Transmisión con respecto a su propio Eje de Giro [kg-m-s<sup>2</sup>].

Y para la Relación de Transmisión, tenemos:

$$i_n = \frac{\omega_r}{\omega_n} \dots\dots\dots (2.1.1.1.h.)$$

$i_n$  -Relación de Transmisión de una parte cualquiera n del propio Sistema.

$\omega_r$  -Velocidad Angular de la Rueda Motriz.

$\omega_n$  -Velocidad Angular de una parte cualquiera n del Sistema de Transmisión.

Entonces, para la **Fuerza de Inercia Total** en el Automóvil se tiene que:

$$F_{it} = F_i + F_i' + F_i'' \dots\dots\dots (2.1.1.1.i.)$$

Sustituyendo todas las *Fuerzas de Inercia* se tiene:

$$F_{it} = \frac{W}{g} \times \frac{dV}{dt} + \frac{1}{r_d} \times \left( \frac{I_m}{i_t^2} \times \frac{d\omega_r}{dt} \right) + \frac{1}{r_d} \left( (I_{rd} + I_{rt}) \frac{d\omega_r}{dt} + \frac{d\omega_r}{dt} \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right) \dots (2.1.1.1.j.)$$

Conociendo que  $V = \omega_r \times r_d$  y derivando respecto al tiempo para obtener la aceleración se tiene:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{r_d} \times \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots (2.1.1.1.k.)$$

Sustituyendo ésta expresión en la ecuación anterior:

$$F_{it} = \frac{W}{g} \times \frac{dV}{dt} + \frac{1}{r_d} \times \left[ \frac{I_m}{i_t^2} \times \left( \frac{1}{r_d} \times \frac{dV}{dt} \right) \right] + \frac{1}{r_d} \left( (I_{rd} + I_{rt}) \left( \frac{1}{r_d} \times \frac{dV}{dt} \right) + \left( \frac{1}{r_d} \times \frac{dV}{dt} \right) \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right) (2.1.1.1.l.)$$



Simplificando ésta ecuación se tiene:

$$F_{it} = \frac{W}{g} \times \left( \frac{dV}{dt} \right) + \frac{1}{r_d^2} \times \frac{I_m}{i_t^2} \times \left( \frac{dV}{dt} \right) + \frac{1}{r_d} \left( \frac{1}{r_d} \times \left( \frac{dV}{dt} \right) \left[ (I_{rd} + I_{rt}) + \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right] \right) \dots \quad (2.1.1.1.m.)$$

$$F_{it} = \frac{W}{g} \times \left( \frac{dV}{dt} \right) + \frac{1}{r_d^2} \times \frac{I_m}{i_t^2} \times \left( \frac{dV}{dt} \right) + \frac{1}{r_d^2} \times \left( \frac{dV}{dt} \right) \left( (I_{rd} + I_{rt}) + \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right) \dots \quad (2.1.1.1.n.)$$

$$F_{it} = \left( \frac{dV}{dt} \right) \left[ \frac{W}{g} + \frac{1}{r_d^2} \times \frac{I_m}{i_t^2} + \frac{1}{r_d^2} \left( I_{rd} + I_{rt} + \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right) \right] \dots \quad (2.1.1.1.o.)$$

(Con el Embrague Acoplado al Motor).

Esta ecuación nos permite determinar la **Fuerza de Inercia Total del Vehículo**, por ejemplo durante la aceleración o el frenado, cuando el sistema de transmisión no se ha desconectado del motor (condición de frenado con el embrague acoplado).

Por otra parte, cuando el frenado del automóvil se realiza con el sistema de transmisión desconectado, es decir, condición de frenado con el embrague desacoplado del motor, las fuerzas de inercia de este último, no se oponen al frenado, por lo que la fuerza de inercia total en esa condición se calcula de la siguiente forma:

$$F_{it} = \frac{dV}{dt} \left[ \frac{W}{g} + \frac{1}{r_d^2} \left( I_{rd} + I_{rt} + \sum_{i=1}^n \frac{I_n}{i_n^2} \right) \right] \dots \quad (2.1.1.1.p.)$$

(Con el Embrague Desacoplado del Motor).

### 2.1.1.2. RESISTENCIA DEL CAMINO.

Después de vencer las fuerzas de inercia, el vehículo debe vencer las fuerzas debido a la resistencia del camino. La suma de la *Fuerza de Resistencia al Rodamiento*  $F_f$  y la *Fuerza debida a la Inclinación del Camino*  $F_\alpha$  se denomina **Resistencia del Camino**, esto es:

$$F_c = F_f + F_\alpha \dots \quad (2.1.1.2.a.)$$



La Resistencia al Rodamiento en las Ruedas delanteras y traseras se puede calcular como sigue:

$$F_{f_d} = W_d \times f_d \quad (\text{Ruedas Delanteras}); \quad F_{f_t} = W_t \times f_t \quad (\text{Ruedas Traseras})$$

Entonces:

$$F_f = F_{f_d} + F_{f_t} \quad \dots\dots\dots (2.1.1.2.b.)$$

Donde:

$W_d, W_t$  - Peso Total que soportan las ruedas delanteras y traseras incluyendo su propio peso.  
 $f_d, f_t$  - Coeficientes de resistencia al rodamiento de las ruedas delanteras y traseras, respectivamente.

Las ecuaciones anteriores se aplican cuando la rueda delantera y trasera, son diferentes en medida y presión de inflado, entonces, considerando que tanto las llantas delanteras como traseras son “iguales”, podemos decir que la resistencia al rodamiento, se puede calcular de la siguiente forma:

$$F_f = W \times f \quad \dots\dots\dots (2.1.1.2.c.)$$

Donde:

$F_f$  - Resistencia al Rodamiento.  
 $W$  - Peso Total del Vehículo Totalmente Equipado.  
 $f$  - Coeficiente de resistencia al rodamiento y que esta en función del tipo de camino y su estado.

Para el caso que tenemos en el diagrama de cuerpo libre (Fig. 2.8.1.), la **Fuerza Total de Resistencia al Rodamiento** se obtiene como vemos a continuación:

$$F_f = (W \cos\alpha \times f) + (P_u \text{sen}\phi \times f) = (W \cos\alpha + P_u \text{sen}\phi) \times f \quad \dots\dots\dots (2.1.1.2.d.)$$

Donde:

$P_u \text{sen}\phi$  - Carga Normal al Camino provocado por la Fuerza de Tiro  $F_u$  ( $P_u = F_u$ ).

Generalmente, la *Fuerza de Tiro* ocupa una posición paralela al camino, pero si esto no ocurre, el ángulo  $\phi$  es pequeño y, por consecuencia, la componente  $P_u \text{sen}\phi \cong 0$ .

Entonces, se tiene que:  $F_f = W \cos\alpha \times f \quad \dots\dots\dots (2.1.1.2.e.)$

La componente del peso del vehículo  $W$  paralela al camino, se denomina **Fuerza de Resistencia debido a la Inclinación** y, ésta se determina como:



$$F_{\alpha} = W \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (2.1.1.2.f.)$$

Siendo  $\alpha$  el *Ángulo de Inclinación del Camino*. Por lo que, la **Resistencia del Camino** se obtiene como:

$$F_c = F_f + F_{\alpha} = W \cos \alpha \times f + W \sin \alpha \quad \dots\dots\dots (2.1.1.2.g.)$$

$$F_c = W(f \cos \alpha + \sin \alpha) \quad \dots\dots\dots (2.1.1.2.h.)$$

### 2.1.1.3. FUERZA TRACTIVA.

Se llama *Fuerza Tractiva o Fuerza de Tracción*, a la reacción que tiene el camino paralela al mismo y que actúa en la rueda motriz. Ésta es la fuerza que provoca el movimiento de avance del vehículo, y se puede calcular como:

$$F_t = \frac{P_t}{r_d} \quad \dots\dots\dots (2.1.1.3.a.)$$

Donde:

- $P_t$  – Par Motriz Aplicado en las Ruedas Motrices.
- $F_t$  – Fuerza Tractiva Aplicada en las Ruedas Motrices.
- $r_d$  – Radio Dinámico de la Rueda.

Para calcular el par en las ruedas con respecto al que se produce en el motor tenemos:

$$P_t = \frac{P_m \times \eta_t \times \eta_s}{i_t} \quad \dots\dots\dots (2.1.1.3.b.)$$

Donde:

- $P_m$  – Par Generado a la Salida del Cigüeñal.
- $\eta_t$  – Eficiencia Total de la Transmisión.
- $\eta_s$  – Eficiencia Total de Patinaje.
- $i_t$  – Relación de Transmisión Total del Sistema de Transmisión del Vehículo.

Para ver como actúa la fuerza tractiva y la eficiencia del patinaje, consideraremos el siguiente diagrama de cuerpo libre de una rueda motriz elástica y velocidad constante sobre un camino rígido.

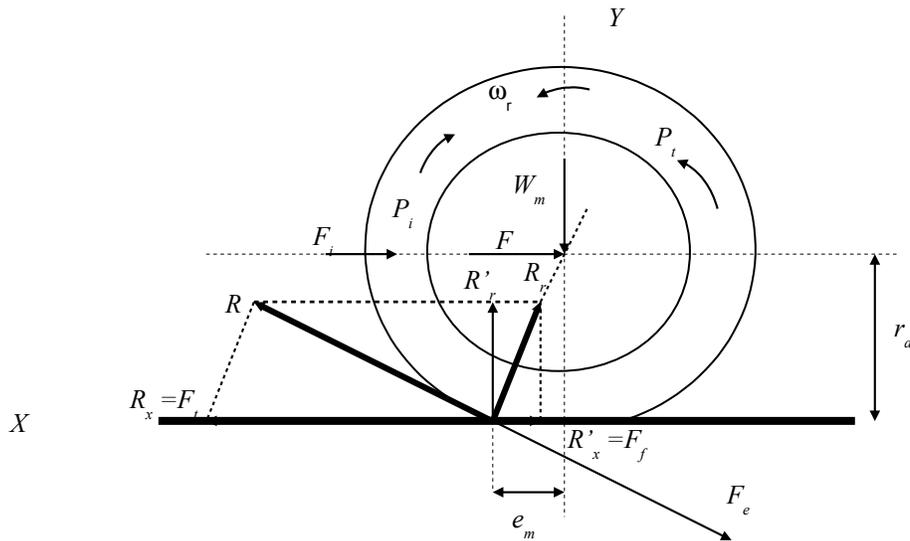


Fig. 2.8.1.3. Rueda Motriz Elástica.

Donde:

$e_m$  = Distancia de la Fuerza de Reacción que produce el camino (tangente a la rueda) al eje de la rueda.

$F_e$  = Fuerza de Empuje sobre el piso provocado por el Par  $P_t$

$R$  = Reacción que produce el camino sobre la rueda motriz.

$F$  = Reacción sobre el eje de la rueda, en el que se considera las distintas fuerzas que vence el vehículo.

La reacción del camino  $R$  se puede descomponer en dos componentes según la ley del paralelogramo. Una que es radial a la rueda  $R_r$  y otra que es paralela al camino  $R_x$ , ésta última se llama **Fuerza Tractiva**  $F_t$ , que es la que produce el avance del vehículo.

Por otra parte, la reacción  $R_r$  es la que se produce en el caso de que no actuara el par motriz, es decir, es la reacción que se produce en una rueda libre. Esta reacción a su vez se descompone en una componente vertical  $R'_r$  y una componente horizontal  $R'_x$  la cual se conoce como **Resistencia al Rodamiento**  $F_f$ .

Para saber cual es la potencia entregada en las ruedas motrices debemos hacer el análisis dinámico de la rueda, esto es, haciendo sumatoria de fuerzas y momentos con respecto a las ruedas motrices.

Haciendo sumatoria de fuerzas en la dirección paralela al camino (eje x) se tiene:

$$- F_i - F - F_f + F_t = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.1.3.c.)$$



Después en el eje y:  $- W_m + R'_y = 0$  ..... (2.1.1.3.d.)

Sumatoria de momentos con respecto al eje de la rueda:

$$- P_i + P_t - (R'_y \times e_m) + (F_f \times r_d) - (F_t \times r_d) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.1.3.e.)$$

Los momentos que produce  $(R'_y \times e_m)$  y  $(F_f \times r_d)$  son igual a 0, ya que la resultante pasa por el eje de la rueda.

Entonces:  $- P_i + P_t - (F_t \times r_d) = 0$  ..... (2.1.1.3.f.)

De (2.1.1.3.c.):  $F_t = F_i + F + F_f$  sustituyendo esta ecuación en (2.1.1.3.f.) se tiene:

$$- P_i + P_t - (F_i + F + F_f)r_d = 0 \quad \text{Si ahora multiplicamos esta ecuación por } \omega_r.$$

$$P_t \times \omega_r = P_i \times \omega_r + F_i \times r_d \times \omega_r + F \times r_d \times \omega_r + F_f \times r_d \times \omega_r \quad \dots\dots\dots (2.1.1.3.g.)$$

Si consideramos que  $V = \omega_r \times r_d$  entonces:

$$P_t \times \omega_r = P_i \times \omega_r + F_i \times V + F \times V + F_f \times V \quad \dots\dots\dots (2.1.1.3.h.)$$

Donde:

- $P_t \times \omega_r$  Es la Potencia Entregada a las Ruedas Motrices.
- $P_i \times \omega_r$  y  $F_i \times V$  Son la Potencia Consumida en Vencer las Fuerzas de Inercia en las Ruedas.
- $F \times V$  Es la Potencia en vencer las Distintas Fuerzas que se oponen al Movimiento del Vehículo, como son: Resistencia del Aire, Resistencias de Inercia Total.
- $F_f \times V$  Es la Potencia Consumida en Vencer la Resistencia al Rodamiento, es decir, es la Potencia que se Pierde en las Deformaciones del Neumático y en las Fuerzas de Fricción entre el Camino y la Rueda.

En la realidad, la velocidad  $V$  es la velocidad teórica, es decir:

$$V_{teórica} = V_{real} + V_s \quad \dots\dots\dots (2.1.1.3.i.)$$

Donde:

$V_s =$  Es la Velocidad de Patinaje.



Sustituyendo esta expresión en la ecuación (2.8.1.3.h.), tenemos:

$$P_t \times \omega_r = P_i \times \omega_r + (F_i \times (V_{real} + V_S)) + (F \times (V_{real} + V_S)) + (F_f \times (V_{real} + V_S)) \dots\dots\dots (2.1.1.3.j.)$$

$$P_t \times \omega_r = P_i \times \omega_r + F_i \times V_{real} + F \times V_{real} + F_f \times V_{real} + (F_i + F + F_f) \times V_S \dots\dots\dots (2.1.1.3.k.)$$

Pero como:  $F_t = F_i + F + F_f$  entonces tenemos:

$$P_t \times \omega_r = P_i \times \omega_r + F_i \times V_{real} + F \times V_{real} + F_f \times V_{real} + F_t \times V_S \dots\dots\dots (2.1.1.3.l.)$$

$$P_t \times \omega_r = P_i \times \omega_r + F_t \times V_{real} + F_t \times V_S \dots\dots\dots (2.1.1.3.m.)$$

Con lo que  $F_t \times V_S$  Es la Potencia que se Pierde debido al Patinaje de la Rueda.

#### 2.1.1.4. FUERZA DE ADHERENCIA.

La **Fuerza de Adherencia**, es la máxima fuerza tangencial que puede transmitir la rueda al camino. La Fuerza de Adherencia se determina mediante las siguientes ecuaciones.

Para las ruedas motrices:  $F_{a_m} = W_m \times \mu \dots\dots\dots (2.1.1.4.a.)$

Para las ruedas libres:  $F_{a_l} = W_l \times \mu \dots\dots\dots (2.1.1.4.b.)$

Donde:  $\mu$  es el Coeficiente de Adherencia.

El movimiento con rodadura pura de la rueda libre, solamente es posible si se cumple la siguiente condición.

$$F \leq F_{a_l} = W_l \times \mu \dots\dots\dots (2.1.1.4.c.)$$

Donde:

$F$  - Es la Fuerza que origina el Movimiento en la Rueda Libre. En el caso contrario, ocurre el Deslizamiento.

Por otra parte, en las ruedas motrices debe cumplirse que:



$$F_t \leq F_{a_m} = W_m \times \mu \quad \dots\dots\dots (2.1.1.4.d.)$$

Donde:

$F_t$  - Es la *Fuerza Tractiva*. Cuando esto no se cumple, ocurre el Patinaje de la Rueda Motriz.

La magnitud del coeficiente de adherencia depende del estado del camino, tipo de neumático y del estado de su banda de rodamiento, presión de aire del neumático, velocidad de movimiento de la rueda, patinaje de la rueda al moverse, uniformidad en la transmisión de la fuerza del camino.

Si la fuerza de adherencia entre la rueda y el camino, pueden parecerse a la fuerza de fricción y el coeficiente de adherencia al coeficiente de fricción, entonces, para el caso que el vehículo estuviera sobre un pavimento blando no puede realizarse este tipo de comparación. En tal caso la fuerza de adherencia depende de las tensiones o de los esfuerzos cortantes que puedan transmitirse al camino, es decir que:

$$F_a = \int_0^L \tau \times b \times dx \quad \dots\dots\dots (2.1.1.4.e.)$$

Donde:

- $L$  - *Largo de la Huella del Neumático.*
- $\tau$  - *Esfuerzo Cortante sobre el Camino Blando.*
- $b$  - *Ancho de la Huella de Contacto entre la Rueda y el Camino.*

El cálculo de la fuerza de adherencia con esta expresión es un tanto complicada, ya que hay que conocer la función de los esfuerzos cortantes y que solo pueden determinarse mediante instrumentos especiales. Por lo tanto, utilizaremos las ecuaciones establecidas para calcular la fuerza de adherencia de la rueda motriz, para calcular la *Fuerza de Adherencia Total del Vehículo* con el camino.

Para los vehículos de tracción trasera, se debe cumplir que:

$$F_t \leq F_a = W_t \times \mu \quad \dots\dots\dots (2.1.1.4.f.)$$

Para los vehículos de tracción delantera, debe cumplirse:

$$F_t \leq F_a = W_d \times \mu \quad \dots\dots\dots (2.1.1.4.g.)$$

Para los vehículos de tracción en las cuatro ruedas o integral:

$$F_t \leq F_a = W \times \mu \quad \dots\dots\dots (2.1.1.4.h.)$$



Donde:

$W_t$   $W_d$   $W$  - Son el Peso Soportado por las Ruedas Traseras, Delanteras y Peso Total del Vehículo, respectivamente.

En la mayoría de los vehículos se cumple que (aún con tracción delantera).

$$W_d < W_t \quad \dots\dots\dots (2.1.1.4.i.)$$

Por lo que con esto, se puede ver que los vehículos de tracción trasera pueden o tienen la posibilidad de aplicar mayor fuerza de tracción que los de tracción delantera.

### 2.1.1.5. FUERZA DE TIRO.

La **Fuerza de Tiro**  $P_u$ , surge debido a la acción del remolque arrastrado. En el caso del remolque de ruedas, la fuerza de tiro se compone según:

$$P_u = F_{f_u} + W_u \text{sen} \alpha + F_{i_u} \quad \dots\dots\dots (2.1.1.5.a.)$$

Donde:

- $F_{f_u}$  Resistencia al Rodamiento del Remolque.
- $W_u \text{sen} \alpha$  Componente de la Fuerza del Peso del Remolque.
- $F_{i_u}$  Fuerza de Inercia del Remolque que Surge en el caso del Movimiento no Uniforme.

La Resistencia al Rodamiento del Remolque, puede calcularse como:

$$F_{f_u} = W_u \times f_u \times \text{cos} \alpha \quad \dots\dots\dots (2.1.1.5.b.)$$

Donde:

- $W_u$  Peso del Remolque.
- $f_u$  Coeficiente de Resistencia al Rodamiento de las Ruedas del Remolque.

Por otro lado las Fuerzas de Inercia de las Ruedas del Remolque, serán:

$$F_{i_u} = \frac{dV}{dt} \left[ \frac{W_u}{g} + \frac{1}{r_{d_u}^2} \left( \sum I_{r_u} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (2.1.1.5.c.)$$



Donde:

$r_{du}$  y  $I_{ru}$  Radio Dinámico y Momento de Inercia de las Ruedas del Remolque.

Si hacemos que:

$$\delta_{i_u} = 1 + \frac{g}{W_u} \times \frac{1}{r_{d_u}^2} \left( \sum I_{r_u} \right) \dots\dots\dots (2.1.1.5.d.)$$

Las Fuerzas de Inercia quedarían como:

$$F_{i_u} = \frac{W_u}{g} \times \delta_u \times \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots (2.1.1.5.e.)$$

Por lo que la Fuerza de Tiro, se calcula como:

$$P_u = W_u \times f_u \times \cos \alpha + W_u \times \sin \alpha + \frac{W_u}{g} \times \delta_u \times \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots (2.1.1.5.f.)$$

Reduciendo la ecuación anterior, tenemos:

$$P_u = W_u \left( f_u \times \cos \alpha + \sin \alpha + \frac{1}{g} \times \delta_u \times \frac{dV}{dt} \right) \dots\dots\dots (2.1.1.5.g.)$$

Todas estas Fuerzas involucradas en el Estudio de la Dinámica de Automóvil, influyen sobre la actitud del vehículo en rectas o curvas, según sea que éste se cargue más sobre uno u otro eje, modificando a baja, media o alta velocidad, las condiciones de manejo y estabilidad del mismo.

## 2.2. FUERZA MOTRIZ.

Se le llama Fuerza Motriz o Tren Motriz, al conjunto de sistemas que se requieren para dar tracción y fuerza mecánica a un vehículo automotor. Ésta lo comprenden: el motor, embrague, caja de cambios, diferencial, árbol de transmisión o cardán, flechas y neumáticos.<sup>[3]</sup>



### 2.2.1. EL MOTOR.

El primer paso para la evaluación del motor, es compararlo con otros motores comerciales utilizados dentro de la competencia, que se encuentren dentro del mercado de motocicletas y verificar que las piezas sean compatibles, estándares, de recambio y usar algunas piezas o elementos similares que puedan fabricarse o adquirirse de manera comercial. Al seleccionar el tipo de motor que se utilizará para la construcción del Fórmula SAE, debemos tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El motor necesita generar la suficiente potencia que se le pide, ya sea en una motocicleta, vehículo comercial o auto para competencia. Esta potencia se puede determinar poniendo el motor en un banco de pruebas aplicando cierta magnitud de carga.
- El motor debe consumir la menor cantidad de combustible, no solo para economizar, sino para disminuir el tamaño del motor y los costos de fabricación en las piezas mecánicas requeridas.
- El motor debe tener el tamaño y desplazamiento adecuado para acoplarse a las dimensiones del automóvil que impone el reglamento de FSAE.
- El motor debe cumplir con los reglamentos sobre emisiones contaminantes y cierto nivel de ruido.

En la competencia, cada categoría del vehículo Fórmula SAE, impone una serie de limitaciones a las características del motor; en el presente caso, el motor debe ser de cuatro tiempos con capacidad máxima total de 610 [cm<sup>3</sup>]. Por lo que, al seleccionar nuestro motor no debemos excedernos de esta capacidad. Iniciaremos entonces por estudiar los motores de cuatro tiempos que existen en el mercado.

Existen motores de cuatro tiempos en varias configuraciones y cada uno tiene ventajas y desventajas, por ello es conveniente conocer sus características y formas. En cuanto al número de cilindros los hay de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12 y 16; mientras que en cuanto a su forma, los hay dispuestos en línea y en forma de V.

El **motor de un solo cilindro** tiene la ventaja de ser sencillo, compacto y relativamente fácil de modificar. Las desventajas de este motor es la falta de superficie en el pistón y en las válvulas de admisión y escape, por lo que, si quisiéramos seleccionar el motor de un pistón, el motor será más grande y pesado produciendo vibraciones y esfuerzos que limiten las revoluciones. Estos motores se utilizan en motos pequeñas, en equipos de construcción como mezcladoras, generadores y soldadoras, todos los cuales requieren de una mínima cantidad de potencia para accionar la maquinaria. Por ello este motor no es útil para nuestra selección.



Por otra parte, el tamaño del motor que seleccionaremos, lo determina la *capacidad cúbica* que tiene cada cilindro del motor. Esta capacidad, es el volumen total de aire y combustible de admisión que permiten contener de forma natural, los cilindros de dicho motor durante un ciclo completo de operaciones. El volumen de la mezcla de aire y combustible necesaria para llenar un solo cilindro durante la carrera de admisión se puede calcular a partir de las medidas del cilindro. Este volumen corresponde al volumen desplazado por el pistón y se llama *volumen desplazado*.<sup>[3]</sup> Es decir:

$$VD = \pi r^2 l \quad \dots\dots\dots (2.2.1.a.)$$

O bien,

$$VD = \frac{\pi d^2 l}{4} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.b.)$$

Donde:

- VD* es el Volumen Desplazado [ $cm^3$ ]
- $\pi$  es la Constante igual a 3.1416
- R* es el Radio del Cilindro [ $cm$ ]
- d* es el Diámetro del Cilindro [ $cm$ ]
- l* es la Longitud de la Carrera del Pistón [ $cm$ ]

Otro concepto muy utilizado, es la capacidad total del motor conocida como *cilindrada*, esta se define como la razón de cambio del volumen desplazado al número de cilindros (*n*) del motor. Esto es:

$$Cilindrada = \frac{\pi d^2 l}{4} n \quad \dots\dots\dots (2.2.1.c.)$$

Durante la carrera de compresión, la mezcla de aire y combustible se comprimen en un pequeño volumen dentro del pistón, este pequeño volumen se denomina Volumen Libre (VL) (Fig. 2.2.1.). Es en este pequeño espacio, donde ocurre la explosión del combustible que produce el movimiento del cigüeñal con determinada potencia.

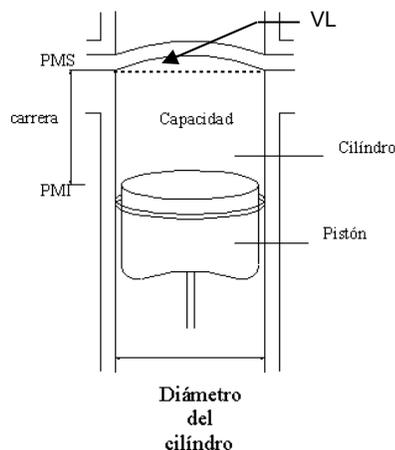


Fig. 2.2.1. Capacidad de un Cilindro.



Existe una relación entre el volumen desplazado y el volumen libre, que nos ayuda a determinar el grado en que se comprime la mezcla aspirada por el cilindro. A dicha relación se le llama Relación de Compresión ( $R_c$ ) y se calcula de la siguiente forma:

$$R_c = \frac{VD + VL}{VL} \dots\dots\dots (2.2.1.d.)$$

Esta relación de compresión es muy importante durante el funcionamiento del motor, ya que cuando existe una relación de compresión alta, el espacio donde se comprime la mezcla, es cada vez más pequeño ocasionando una mayor presión y por ende un empuje mayor hacia el pistón en la carrera de potencia o expansión.

Por lo tanto, si queremos aumentar la potencia debido al aumento de peso en el vehículo, lo podemos hacer de dos formas:

- *Incrementando las dimensiones del cilindro y de la carrera, o*
- *Aumentando el número de cilindros.*

Si el diámetro y la carrera del cilindro se incrementan para aumentar la salida de potencia, entonces algunos componentes como el pistón, la biela, el cigüeñal y los cojinetes deben aumentar de tamaño para soportar los grandes esfuerzos operativos y cargas que se les impone. Un aumento de tamaño naturalmente significa un aumento de peso y volumen del motor. Desafortunadamente el peso de un motor aumenta más rápido que la potencia de salida. En consecuencia la relación de potencia a peso disminuye, haciendo así que la idea de mantener un solo cilindro en aumento sea desfavorable para la selección de nuestro motor.

Por otra parte, si aumentamos el número de cilindros, la potencia ganada es mayor que el aumento de peso del vehículo, teniendo así un aumento de la relación de potencia a peso. Volviéndose la segunda opción más favorable para nuestra selección, ya que un motor de varios cilindros es más bajo pero más largo.

El **motor de dos cilindros en línea a 180°** elimina algo de la vibración, a costa de cierto desequilibrio del encendido, por lo demás, los motores de dos cilindros en línea pueden funcionar de forma muy estable si llevan compensadores de balance, pero si se modifica su cilindrada habrá que tener en cuenta que los pistones pesarán más, y se tendrá que ajustar por ende el compensador. Ésta disposición elimina en gran medida la vibración, ya que los pistones y bielas se desplazan en sentidos opuestos, sin embargo, cuando se opera con ciclo de cuatro tiempos, la generación de potencia se hace irregular, ya que en cada revolución ocurren dos carreras de potencia.



El **motor de dos cilindros en V** tiene todas las ventajas del motor monocilíndrico, además de menor altura, mayor superficie de pistón y de válvulas, tiene un equilibrio primario que puede ser casi perfecto. El motor de dos cilindros a  $90^\circ$  tiene un equilibrio primario total, dos cabezas de biela que van montadas en el mismo codo del cigüeñal. El resultado que se obtiene de esta configuración, son intervalos de potencia irregulares, ya que estos se originan cada  $270^\circ$  y luego a  $450^\circ$ .

El **motor de dos cilindros horizontales opuestos**, tienen los codos del cigüeñal a  $180^\circ$ , tiene un equilibrio primario y secundario perfecto; el único desequilibrio que se produce es cierto balanceo debido a que un cilindro esta ligeramente más adelante que el otro. Tiene poca altura pero su anchura puede dar problemas de instalación. Las manivelas se encuentran a  $180^\circ$  con lo que se logra un completo equilibrio, ya que los pistones se desplazan en direcciones opuestas donde las masa giratorias casi se cancelan, por otro lado, sus impulso de potencia son uniformes ya que se encuentran a intervalos de  $360^\circ$ .

El **motor de tres cilindros en línea**, en teoría tiene muchas ventajas, pero en la práctica han defraudado bastante. Los codos del cigüeñal están a  $120^\circ$ , y así se consigue un equilibrio primario perfecto, pero el bamboleo del cigüeñal siempre acaba produciendo vibraciones. En otros aspectos (tamaño, superficie de pistón, área de válvulas) están a mitad de camino entre las bicilíndricas y las de cuatro cilindros en línea. Además, los cigüeñales de  $120^\circ$  son difíciles de fabricar, e incrementaría el costo de producción, por lo tanto, el motor de tres cilindros es poco común y proporciona potencia a intervalos regulares de  $240^\circ$ .

Los **motores de cuatro cilindros en línea** son muy frecuentes para los fabricantes de automóviles, lo que parece indicar que es la mejor solución, ya que aumenta al máximo el área de válvulas y de pistón, se tiene un equilibrio general, la masa de pistones es reducida, los costos de producción son menores y las dimensiones en general son aceptables. En casi todos los sentidos, puede conseguirse una potencia máxima. Además, el motor de cuatro cilindros tiene buen equilibrio y estabilidad al calibrarlo en bancos de prueba y al llevar a cabo un análisis dinámico de maquinaria presentando intervalos de potencia uniformes a  $180^\circ$ .

El **motor de cuatro cilindros en V** es más compacto (el cigüeñal es aproximadamente un 20% más corto), no es tan alto, pero resulta complicado ajustarlo en el bastidor. Su equilibrio primario es completo. Esta disposición es la ideal para ensamblar en espacios reducidos y generalmente se utilizan en motocicletas. El motor V4 tiene impulsos de potencia uniformes a cada  $180^\circ$ , pero su equilibrio es deficiente, por lo que en este tipo de motores se usan cigüeñales que arrastran un eje excéntrico para compensar este punto.

El **motor de cuatro cilindros horizontales** proporciona un equilibrio perfecto, proporciona el doble de potencia que el de dos cilindros, esta configuración es conocida como motor plano de cuatro cilindros y ha sido usado por Volkswagen, Porsche y Citroën. La desventaja es que es difícil de instalar debido a su gran anchura.



El **motor de cinco cilindros en línea** con cigüeñales cuyos codos están a  $72^\circ$  tiene un equilibrio total, pero (como sucedería al de tres cilindros en línea) el largo cigüeñal tiene que sufrir mucho balanceo. Aunque proporciona mayor superficie de pistón y válvulas que el motor de cuatro cilindros, su anchura total seguramente acabará dando problemas. El problema de vibración por torsión del cigüeñal también se agudiza. Los intervalos de potencia se dan cada  $144^\circ$  debido a que las manivelas están espaciadas a  $72^\circ$  entre cada una. Esta configuración ha sido adoptada por Mercedes Benz, Volvo y Audi-NSU.

En el **motor de seis cilindros en línea** los codos del cigüeñal están a  $120^\circ$  proporcionando el mismo equilibrio primario que dos motores de tres cilindros en línea, así como un equilibrio primario completo, y los pares de balanceo se equilibran el uno al otro, de forma que el motor tiene un funcionamiento perfectamente equilibrado, con la ventaja de que los encendidos están distribuidos de forma equilibrada. Tienen mayor superficie de pistón y de válvulas que un motor de cuatro cilindros. Pero tiene una serie de desventajas, además de su complejidad y de sus costos de fabricación. En realidad los factores que más lo limitan son su anchura y la longitud de su cigüeñal.

El **motor de seis cilindros en V** no tiene la perfección mecánica del de seis cilindros en línea, pero es más práctico, por ser más compacto y tener un cigüeñal mucho más corto. Se puede considerar seguramente como el paso lógico después de los de cuatro cilindros, en cuanto a potencia, costo y complejidad.

El **motor de ocho cilindros en V** permite colocar la máxima cilindrada y superficie de pistón en el espacio más reducido, combinándolo todo con un buen equilibrio y una producción de potencia muy regular. Sus principales desventajas son la complejidad de su instalación y los problemas ajenos a la misma.

Los **motores de 10, 12 y 16 cilindros** naturalmente son más potentes y se pueden volver muy estables. Estos motores se usan comúnmente en carreras de Fórmula 1, pero las condiciones y especificaciones que se imponen son a mayor escala que en Fórmula SAE. Por lo que estos motores quedan fuera de ser prospectos para nuestro diseño.

Quizá parezca que algunas de estas configuraciones de motores, son puramente teóricos, sin embargo, todos ellos han sido utilizados por fabricantes de motocicletas para competencias después de 1950. Algunos de estos motores son: un prototipo del motor P86 de dos cilindros en paralelo, construido por Cosworth, el motor daba de 90 a 100 [CV], y por lo tanto fue uno de los motores de dos cilindros más potentes de la historia; los motores de dos cilindros en V de 600 y de 750 [cm<sup>3</sup>] tuvieron éxito en la carrera de F1 y F2; el motor HONDA V4 (cuatro cilindros en V) se utiliza en varios modelos de moto, es un motor estrecho, corto, tiene buen equilibrio y mucha superficie de pistones y válvulas; el prototipo de motor V4 de HONDA NR500 tenía cilindros y pistones ovalados lo que le daba muchas de las ventajas de un motor V8 en una categoría de competición en la que sólo se permitía de cuatro cilindros.



### 2.2.1.1. MOTORES UTILIZADOS EN LA COMPETENCIA FSAE.

De acuerdo con las características que se han dado acerca de los motores de cuatro tiempos, desde un cilindro hasta 16 cilindros, en esta comparación hemos descartado el estudio de los motores de dos tiempos y los motores rotativos Sachs Wankels ya que estos están fuera de las reglas establecidas por FSAE.

Los motores que se descartan para la decisión del diseño de la toma de fuerza motriz, son aquellos que tienen más de 5 cilindros; primero, porque aumenta considerablemente la cilindrada por arriba de los 610 [cc] que establecen las especificaciones y; segundo, los costos de fabricación se elevan y las dimensiones del automóvil quedarían fuera de las condiciones expuestas. Por otro lado, los monocilíndricos son de baja capacidad de cilindrada, por lo que, deberíamos de modificar el tamaño de las piezas como el pistón, válvulas y el monoblock para obtener una potencia competitiva; además si se pudiera lograr esto último o conseguir un motor de más capacidad, las dimensiones del motor incrementarían y por ende el peso del vehículo también aumenta, la frecuencia de vibraciones crece con lo que el motor se hace muy inestable. Como sabemos que el peso aumenta más rápido que la potencia, el uso de este motor se descarta.

En cuanto a los motores de 3 cilindros, presentan impulsos de potencia regulares, equilibrio del motor eficiente y compacto. El problema de estos motores es que son poco comunes en el mercado y se haría difícil o casi imposible encontrar piezas de refacción si quisiéramos modificarlo para obtener la potencia y par deseados. En consecuencia este motor tampoco será el elegido.

Aunque históricamente en la competencia de FSAE se han usado motores de 1 y 3 cilindros, los que mejor desempeño han tenido son los de 2 y 4 cilindros. Por ello, nuestra selección se reduce a elegir algún motor de 2 y 4 cilindros.

*¿Cuál seleccionaremos?, ¿Por qué? y ¿Cuál es el desempeño de uno u otro motor?*, son preguntas que responderemos en base al siguiente análisis.

Es claro que seleccionaremos aquel que nos proporcione mayor potencia, pero también debemos tener en cuenta que estamos diseñando un prototipo y debemos de aprovechar al máximo nuestro motor con el mínimo costo en todos los aspectos, es decir máxima potencia, máxima velocidad, mejor funcionalidad, mayor resistencia, mínimo consumo de combustible, mejor estética y sobre todo un costo total mínimo que sea permitido dentro del reglamento vigente.

Empezaremos a ver que motores se han utilizado en la competencia de la Fórmula SAE (Tabla 2.2.1.1.) e intentaremos ver las expectativas que tiene cada uno de estos motores en la competencia.<sup>[1]</sup>



Marcas y Modelos Comerciales	No. Cilindros	Desplazamiento [cc]
Honda CBR 250 RR	4	249
Yamaha FZR-400	4	430
Kawasaki EX250	2	249
Honda CB-1	4	399
Honda NC35	4	399
Honda CBR 600 F4	4	599
Yamaha YZF-600R	4	600
Yamaha YZF-R6	4	600
Honda CBR 600 F2	4	600
Honda CBR 600 F3	4	600
Kawasaki ZX6	4	600
Honda CBR 600 F1	4	598
Honda CX 500	2	497
Kawasaki Ninja	4	593
Yamaha FZR-600	4	599
Suzuki K6A	3	608
Honda VT500C	2	491
Husaberg 500	1	501
KTM Duke LC-4 620	1	609
Honda NX650/XR600	1	606

Tabla 2.2.1.1. Algunos Motores utilizados en la Competencia Fórmula SAE.

Si bien hemos dicho, que la Fuerza Motriz es un conjunto de sistemas que está integrado por el motor, embrague, caja de cambios, diferencial, árbol de transmisión, flechas y neumáticos y, que estos sistemas nos proporcionan la tracción y fuerza del vehículo. Entonces, para la selección de nuestro motor debemos tener en cuenta las propiedades de tracción que se desean obtener en las ruedas del vehículo, así como una correcta decisión entre aspectos técnicos y económicos.

### 2.2.1.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PAR Y POTENCIA.

Para la tracción del automóvil, es necesario conocer algunos conceptos de análisis para motores de combustión interna. En la Fig. 2.2.1.2., se muestra la característica exterior de velocidad de un motor de motocicleta HONDA CBR 600 RR, la cual es la representación gráfica de las funciones de Par (Torque) y Potencia, a diferentes revoluciones [RPM], medidas a través de un banco de pruebas o de potencia.



Con regularidad nos encontramos con este tipo de gráficas también llamadas *Curvas Características de Par y Potencia*, como una ficha técnica mostrada por cada fabricante. Por ello es necesario interpretar cada una de dichas curvas para conocer sus ventajas y desventajas que ofrece.

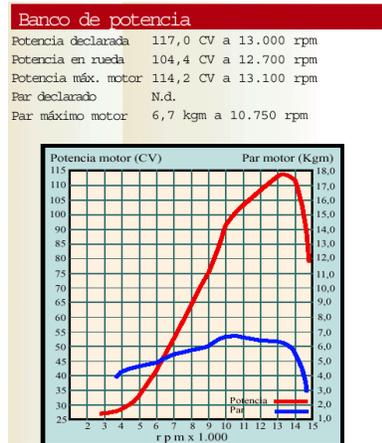


Fig. 2.2.1.2. Curvas Características de Par y Potencia del Motor HONDA CBR 600 RR.

Las Funciones que definen a estas curvas son:

- $P(n)$  Par o Torque.
- $N(n)$  Potencia a la Salida del Motor.
- $n$  Revoluciones por Minuto del Motor.

Como podemos observar de la gráfica, en estas curvas características, la potencia máxima ( $N_{max}$ ) que demanda el motor, depende solamente de un valor de revoluciones por minuto del cigüeñal, y por tanto, la velocidad del vehículo es proporcional a las revoluciones por minuto del cigüeñal. Resulta entonces, que la potencia máxima en las ruedas ( $N_r$ ) se obtiene para una sola velocidad del vehículo. Como esta condición no es favorable, es entonces donde el sistema de transmisión debe dar solución a este problema, de tal forma que siempre se tenga la potencia máxima en las ruedas sin importar la velocidad del automóvil. Por lo anterior, tenemos que analizar cuales deben ser las características de nuestra fuerza motriz, de tal manera, que el sistema de transmisión cumpla con las relaciones de transmisión adecuadas y otorgar una mejor tracción en el automóvil.<sup>[3]</sup>

Esta claro, que la primera consideración que tenemos que hacer es que la potencia sea constante en todo momento sin importar la velocidad del vehículo, es decir,  $N = constante$ . Esto es válido ya que  $N_r$  es proporcional a  $N$  y, además,  $V_{cil}$  es proporcional a  $n$ , entonces se tiene que:



$$N = P \times n \quad \text{Donde } N \text{ es la Potencia del Motor} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.2.a.)$$

Resulta entonces que la curva de par ideal será:

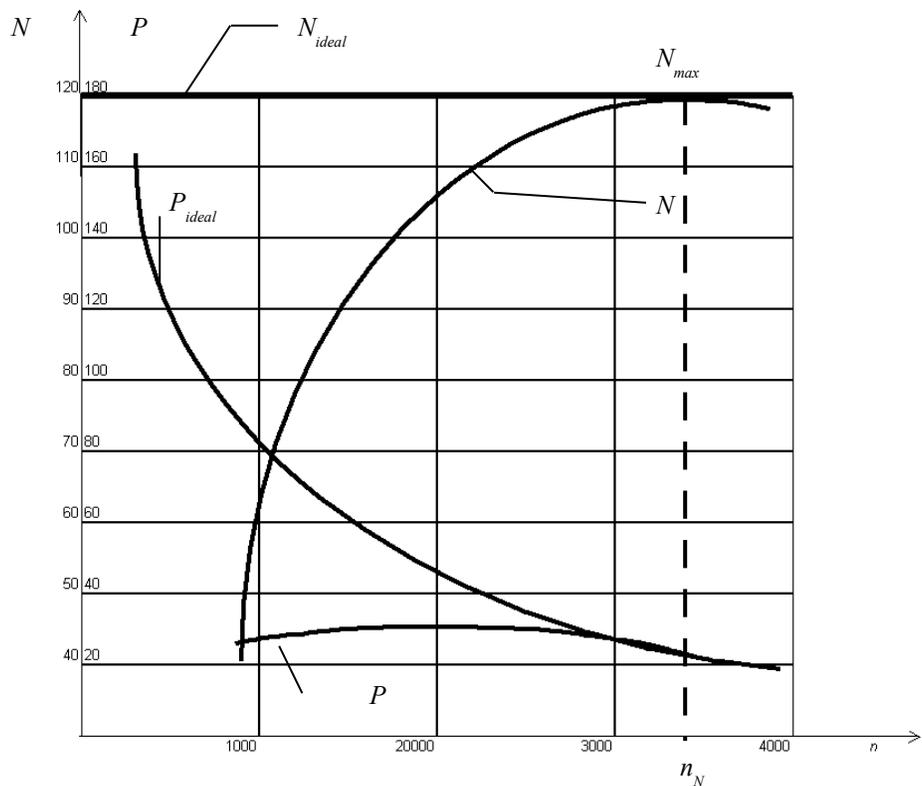
$$P_{ideal} \times n = cte. \quad \text{Donde } P_{ideal} \text{ es el Par Ideal del Motor} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.2.b.)$$

Para la potencia ideal tendremos:

$$N_{ideal} = f(n) = cte. \quad \text{Donde } N_{ideal} \text{ es la Potencia Ideal del Motor} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.2.c.)$$

Estas curvas de par y potencia ideales, se pueden comparar contra las curvas de par y potencia reales de un motor de combustión interna (Fig. 2.2.1.2.1.).

Fig. 2.2.1.2.1. Comparación entre las Características de un Motor de Combustión Interna Real y las Característica de un Motor Ideal.



Haciendo esta comparación, vemos que las características del motor de combustión interna real, no cumplen con nuestras exigencias de tracción, ya que como podemos ver, la potencia máxima del motor se obtiene a una sola velocidad del motor  $n_N$  que es la velocidad de potencia máxima.



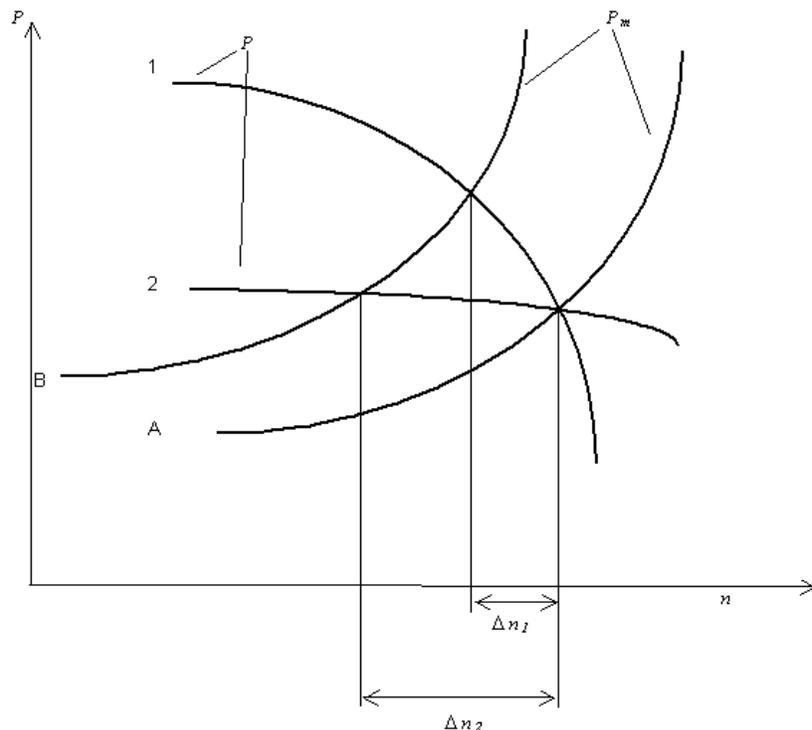
Tanto para el diseño del sistema de transmisión como para el análisis de las propiedades de tracción del automóvil (capacidad de aceleración, capacidad de subir pendientes, capacidad de vencer la resistencia del aire entre otras), es de gran importancia conocer la elasticidad del motor.

### 2.2.1.3. ELASTICIDAD DEL MOTOR.

Se entiende por elasticidad del motor a la capacidad de acondicionamiento de éste a los cambios de carga. Esta reacción depende de la Curva de Par en función de las revoluciones del motor  $P = f(n)$ , ya que, mientras menores sean las variaciones de velocidad angular del cigüeñal debido al cambio de carga, es más fácil su control.<sup>[4]</sup> Además, no se realizan muchos cambios en los mandos del motor y es más estable su trabajo.

Para entender mejor este concepto, veamos la Fig. 2.2.1.3.1., y supongamos que el par demandado al motor por las resistencias, está representado por la curva  $P_m$  en un motor de 4 cilindros. Si a ésta le aplicamos una variación de carga donde la Curva Par cambia su pendiente de **A** hacia **B** debido al decremento de las revoluciones del motor, tenemos las curvas de par de dos motores 1 y 2. Se puede ver que el motor 1 de curva más inclinada, sufre menos variación en su velocidad angular respecto al motor 2. Por lo tanto se puede decir que el motor 1 trabaja más estable que el motor 2.

Fig. 2.2.1.3.1.  
Gráfica donde se representa  
la Elasticidad de un Motor.





Por lo que, para la evaluación de la elasticidad del motor están definidos los siguientes índices:

- Índice de Elasticidad en Par.
- Índice de Elasticidad en la Velocidad Angular del Cigüeñal.
- Índice de Elasticidad Total.

El *índice de elasticidad en par* ( $e_p$ ), se expresa por la relación de la razón del Par Máximo  $P_{máx}$  al Par de Potencia  $P_N$ , que corresponde al Par en la Potencia Máxima.

$$e_p = \frac{P_{máx.}}{P_N} \dots\dots\dots (2.2.1.3.a.)$$

Estos valores oscilan entre 1,1 – 1,3.

El *índice de elasticidad en velocidad angular* ( $e_n$ ) del cigüeñal es el siguiente:

$$e_n = \frac{n_N}{n_p} \dots\dots\dots (2.2.1.3.b.)$$

Donde:

$n_N$  - Revoluciones por minuto en Potencia Máxima.

$n_p$  - Revoluciones por minuto en Par Máximo.

Es frecuente encontrar valores de  $e_n$  entre 1,3 y 2,0. El motor que se distingue por tener este índice alto posee mayor posibilidad de aprovechar su rango de velocidades angulares y gracias a esto se presta mejor para la tracción del vehículo.

Por lo tanto el **Índice Total de Elasticidad** ( $E$ ), se obtiene al resolver el producto del **Índice en Par** y el **Índice de Velocidad Angular**, esto es:

$$E = e_p \times e_n \dots\dots\dots (2.2.1.3.c.)$$

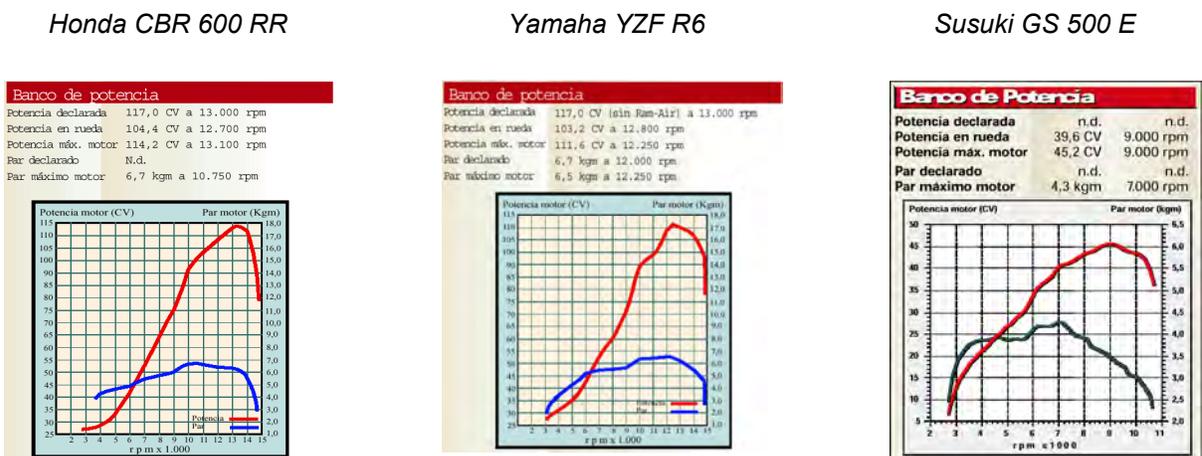
El valor promedio de estos índices se mantienen entre 1,5 a 2,5.



Por lo tanto, desde el punto de vista de la Tracción, “El mejor Motor, es aquel que posee mayor Índice de Elasticidad”.

Algunas de estas Curvas Características de Motores de motocicletas, que se han encontrado en el mercado, son las que se ven a continuación en las siguientes gráficas.

Fig. 2.2.1.3.2. Curvas Características de Par y Potencia de algunos Motores de Motocicleta Comerciales.



Donde:

$n_{m\acute{a}x}$     *Revoluciones por Minuto Máximas [RPM].*

$P_{m\acute{a}x}$     *Par o Torque Máximo [kg-m] ó [Lb-pie].*

$N_{m\acute{a}x}$     *Potencia Máxima [CV] ó [HP].*

Estas curvas características, son generadas a través de bancos de prueba para cada fabricante. En este banco se mide la potencia que entrega el motor para diferentes revoluciones del cigüeñal a una máxima dosificación del combustible, obteniendo de esta forma la curva de potencia que genera el motor. Por otra parte, en el mismo banco de pruebas se le aplican al motor diferentes cargas variables a diferentes velocidades del cigüeñal, generando de esta forma, las curvas de par o torque del motor. El fabricante de motores obtiene la potencia máxima y par máximo que declara el motor, sin embargo, la potencia y par máximo que se especifica, es aproximadamente un 3% menor a la que declara el motor. De aquí que para los fines de diseño, la potencia y par que se considerará en adelante, será la *Potencia Máxima* y el *Par Máximo* especificados.



### 2.2.1.4. SELECCIÓN DEL MOTOR.

De acuerdo a estas características, realizaremos un comparativo de cada uno de los motores comerciales más utilizados en la competencia de FSAE, para llevar a cabo la selección de los motores que podremos usar en nuestro diseño. Para ello, veremos la siguiente tabla en la que se muestra el *Modelo del Motor*, *Número de Cilindros*, *Potencia Máxima  $N_{m\acute{a}x}$*  en [CV], *Par Máximo  $P_{m\acute{a}x}$*  en [kg-m], *Revoluciones por Minuto de la Potencia  $n_N$*  en [RPM], *Revoluciones por Minuto del Par  $n_P$*  en [RPM], *ndice de Elasticidad del Motor  $E$* , *Relación de Compresión  $R_c$*  de cada motor, entre otras características.

Tabla 2.2.1.4.a. Características de Motores de 4 Tiempos con 1, 2 y 4 Cilindros.

Modelo de Motor	Número de Cilindros	Cilindrada	$R_c$	Válvulas	$N_{m\acute{a}x}$ [CV]	$P_{m\acute{a}x}$ [kg-m]	$P_N$ [kg-m]	$n_N$ [RPM]	$n_P$ [RPM]	$e_p = P_{m\acute{a}x} / P_N$	$e_n = n_N / n_P$	$E = e_p * e_n$
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	114.2	6.7	6.2	13100	10750	1.081	1.219	1.317
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	12.4:1	DOHC 16V	111.6	6.5	6.5	12250	12250	1.000	1.000	1.000
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	12:1	DOHC 16V	110.3	6.8	6.5	12500	10000	1.046	1.250	1.308
Honda CBR 600 SPORT	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	110.3	6.8	6.5	12500	10000	1.046	1.250	1.308
Kawasaki ZX 6R	4	636 cc	12.6:1	DOHC 16V	109.1	6.9	6	13200	9900	1.150	1.333	1.533
Kawasaki ZX-6 RR	4	599 cc	13:1	DOHC 16V	106.7	5.8	5.4	14100	12700	1.074	1.110	1.192
Triumph Daytona 600	4	599 cc	12.5:1	DOHC 16V	103	6.1	5.9	12300	11400	1.034	1.079	1.116
Yamaha FZ6 600 FAZER	4	600 cc	12.2:1	DOHC 16V	99.2	6.1	5.7	12150	11000	1.070	1.105	1.182
Yamaha FZ6	4	600 cc	12.2:1	DOHC 16V	98.1	6	5.7	12100	10650	1.053	1.136	1.196
Honda CB 600 F	4	600 cc	12:1	DOHC 16V	89.4	6.6	5.2	12150	9350	1.269	1.299	1.649
Yamaha FZS 600 FAZER	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	86.8	5.9	5.3	11500	10000	1.113	1.150	1.280
Honda CBF 600 S	4	599 cc	11.6:1	DOHC 16V	77.3	6.1	5.5	10075	7850	1.109	1.283	1.423
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	11.3:1	DOHC 16V	71	6.2	6.2	9800	9800	1.000	1.000	1.000
Triumph Speedmaster	2	790 cc	9.2:1	DOHC 8V	65.3	6.9	6.5	7000	5400	1.062	1.296	1.376
Husqvarna TE 510	1	501.03 cc	12.5:1	DOHC 4V	58.6	5.4	5	7700	6400	1.080	1.203	1.299
Yamaha YP 500 Tmax	2	499 cc	n.d.	DOHC 8V	55.5	5.44	4.75	8250	7000	1.145	1.179	1.350
Suzuki GS 500 E	2	487 cc	9:1	DOHC 4V	45.2	4.3	3.5	9000	7000	1.229	1.286	1.580
Suzuki GS 500 F	2	487 cc	9:1	DOHC 4V	45	4.3	3.5	8950	4225	1.229	2.118	2.603
Piaggio X9 500 Evolution	1	460 cc	n.d.	SOHC 4V	44.6	4.3	4	8000	7025	1.075	1.139	1.224
Yamaha TTR 600	1	596 cc	8.5:1	SOHC 4V	42.2	5.3	4.3	7100	5100	1.233	1.392	1.716
Piaggio Beverly 500	1	460 cc	10.5:1	SOHC 4V	41.9	3.98	3.7	7800	7000	1.076	1.114	1.199
Aprilia Scarabeo 500	1	460 cc	10.5:1	SOHC 4V	41.5	4.1	3.8	7650	7000	1.079	1.093	1.179
Suzuki AN 400 Burgman	1	385 cc	10.2:1	SOHC 4V	37	3.7	3.5	7600	6000	1.057	1.267	1.339
Yamaha Majesty 400	1	395 cc	10.6:1	DOHC 4V	36.7	3.8	3.7	6575	6000	1.027	1.096	1.125
Benelli Velvet 400 Dusk	1	383.38 cc	n.d.	SOHC 2V	35	3.65	3.25	7600	6700	1.123	1.134	1.274
Piaggio X9 250 Evolution	1	244.3 cc	n.d.	SOHC 4V	26.6	2.34	2.1	9125	7875	1.114	1.159	1.291
Hyosung Comet 250	2V	249 cc	n.d.	DOHC 8V	26.3	2.4	2	9500	4250	1.200	2.235	2.682
Suzuki Burgman 250	1	249 cc	10.7:1	SOHC 4V	25.8	2.5	2	9250	6600	1.250	1.402	1.752
Piaggio Beverly 250	1	244 cc	11:1	SOHC 4V	24.2	2.8	2	8600	5900	1.400	1.458	2.041
Vespa Granturismo 200 L	1	198 cc	n.d.	DOHC 4V	22.9	3.7	2.1	8025	3975	1.762	2.019	3.557
Kawasaki FD590V	2V	585 cc	n.d.	OHV	17	4.2	39	3000	2700	1.077	1.111	1.197
Hyosung Comet GT 125	2V	124.7 cc	n.d.	DOHC 8V	15.2	1	1	10900	6650	1.000	1.639	1.639
Kawasaki FD501V	2V	437 cc	n.d.	OHV	14	33	32	3000	2800	1.031	1.071	1.105
Honda XR 125 L	1	124 cc	9.5:1	OHC 2V	11.7	1.2	0.8	10125	5950	1.500	1.702	2.553
Sherco City Corp 125 SM	1	123.7 cc	n.d.	SOHC 2V	11.5	1.7	1.2	7000	1500	1.417	4.667	6.611



Como se puede analizar de la Tabla 2.2.1.4.a., vemos que los motores de 1 cilindro tienen poca potencia a la salida del cigüeñal. A pesar de que su cilindrada crezca debido al aumento de las dimensiones de diámetro del pistón; la carrera no genera la misma potencia que un motor de 4 cilindros con la misma cilindrada. Además, cada motor tiene un desempeño en potencia y par diferentes, ya que son diseñados para cumplir con determinadas expectativas, en cuanto a que el motor sea menos costoso, tenga o posea menor tamaño y mayor estabilidad en su funcionamiento.

Por ejemplo, el **Motor Yamaha TTR 600** mono-cilindro de 596 [cc] tiene una potencia máxima de 42.2 [CV] y un par máximo de 5.3 [kg-m], si a éste lo comparamos contra un motor de 4 cilindros como el **Suzuki GSX 600 F** de 599 [cc], éste tiene una potencia máxima de 71 [CV] y un par máximo de 6.2 [kg-m] (Tabla 2.2.1.4.b.).

Tabla 2.2.1.4.b. Comparación de un Motor de Un Cilindro contra uno de Cuatro Cilindros.

Modelo de Motor	Número de Cilindros	Cilindrada	Rc	Válvulas	$N_{m\acute{a}x.}$ [CV]	$P_{m\acute{a}x.}$ [kg-m]	$P_N$ [kg-m]	$n_N$ [RPM]	$n_P$ [RPM]	$e_p = P_{m\acute{a}x} / P_N$	$e_n = n_N / n_P$	$E = e_p * e_n$
Yamaha TTR 600	1	596 cc	8.5:1	SOHC 4V	42.2	5.3	4.3	7100	5100	1.233	1.392	1.716
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	11.3:1	DOHC 16V	71	6.2	6.2	9800	9800	1.000	1.000	1.000

Por lo tanto, es mejor aumentar la cilindrada (desplazamiento volumétrico) con un mayor número ( $n$ ) de cilindros, porque de esta forma la potencia crece más rápido que el peso del motor; por otra parte, si aumentamos la cilindrada (desplazamiento volumétrico) incrementando las dimensiones del pistón, carrera y válvulas, el incremento de peso del motor se eleva más rápido que la potencia de salida y, además tendremos mayor vibración en nuestro vehículo. Ahora bien, la ventaja que tienen los motores mono-cilíndricos, es que son relativamente más económicos que el de cuatro cilindros, sin embargo, si queremos que el automóvil sea competitivo, el motor de un cilindro no sería favorable en nuestra competencia.

Si ahora analizamos el motor de 2 cilindros, por ejemplo el **Yamaha YP 500 Tmax vs. Suzuki GSX 600 F**, vemos que el de dos cilindros trabaja más estable ya que tiene un índice de elasticidad de 1.350 mientras que el de cuatro cilindros es de 1.000, lo que significa que el primero tiene mayor capacidad de acondicionamiento a los cambios de carga por ejemplo en la subida de pendientes o cambios de velocidad que el segundo. A pesar de que el motor de dos cilindros trabaja más estable, el motor de cuatro cilindros presenta una potencia y par a la salida del cigüeñal mayor que la que genera el de dos cilindros (Tabla 2.2.1.4.c.).

Si quisiéramos incrementar la capacidad del motor de dos cilindros incrementando las dimensiones del pistón, y la carrera, éste indudablemente sería más grande y tendría el problema de la vibración, aunque existen compensadores en el cigüeñal que trabajan de forma excéntrica a este y pueden hacer que el motor trabaje estable eliminando las vibraciones.



Aún, si estos cambios al motor fueran favorables vemos que su potencia sigue siendo deficiente, pero por otra parte se ganaría más par, con lo que el motor tendría más capacidad en subida de pendientes y trabajaría más estable en los cambios de velocidad; en tal caso lo vemos en el **Motor Triumph Speed-Master** que tiene una cilindrada de 790 [cc], potencia de 65.3 [CV], par de 6.9 [kg-m] y una elasticidad total  $E$  de 1.376. La causa por la cual este motor tiene poca potencia a pesar de tener mayor cilindrada, es porque la relación de compresión  $R_c$  es menor que la del de 4 cilindros, es decir, si comparamos la relación de compresión de 9.2:1 vs. 11.3:1, la primera relación tendrá un volumen libre (VL) más grande en la cámara de combustión que la segunda, por lo que, las presiones que se ejercen al momento de la carrera de potencia, son menores en la primera relación en comparación con las que se generan en la segunda (Tabla 2.2.1.4.c.).

Tabla 2.2.1.4.c. Comparación de un Motor de Dos Cilindros vs. Cuatro Cilindros.

Modelo de Motor	Número de Cilindros	Cilindrada	$R_c$	Válvulas	$N_{máx.}$ [CV]	$P_{máx.}$ [kg-m]	$P_N$ [kg-m]	$n_N$ [RPM]	$n_P$ [RPM]	$e_p = P_{máx.}/P_N$	$e_n = n_N/n_P$	$E = e_p * e_n$
Yamaha YP 500 Tmax	2	499 cc	n.d.	DOHC 8V	55.5	5.44	4.75	8250	7000	1.145	1.179	1.350
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	11.3:1	DOHC 16V	71	6.2	6.2	9800	9800	1.000	1.000	1.000
Triumph Speedmaster	2	790 cc	9.2:1	DOHC 8V	65.3	6.9	6.5	7000	5400	1.062	1.296	1.376

Otro aspecto que hay que analizar, es el número de válvulas de admisión y escape que tiene cada motor. En la mayoría de los motores nos especifican el número total de válvulas que ocupa y la disposición en que se encuentran instaladas. Es común encontrar las descripciones de disposición de válvulas como: OHV, DOHC, SOHC y OHC,<sup>[Pie: Revisar Glosario]</sup> lo que simplemente significa en como está dispuesto el árbol de levas que abre y cierra las válvulas de admisión y escape.

Como podemos observar hay diferentes configuraciones de apertura de válvulas, pero estos tipos de motores funcionan prácticamente igual en condiciones normales, pero para una competencia, el tipo DOHC es el más recomendado y utilizado (de hecho ésta última es la versión más popular entre los vehículos de pista).

Entonces si vemos DOHC 16V, significa que es un motor que utiliza doble árbol de levas con 16 válvulas, el mejor desempeño de un motor lo tendrá aquel que ocupe mayor número de válvulas ya que con esto se aumenta la superficie de las válvulas, por lo que la inyección de combustible será más rápida si se ocupa un mayor número de válvulas de admisión; lo mismo ocurre con las válvulas de escape, se hace más rápido la salida del combustible quemado, haciendo con esto que el motor sea más eficiente.

Finalmente, concluyendo con lo anterior, podemos decir que el motor que estamos buscando para nuestro diseño se reduce a los siguientes puntos:

1. *Encontrar un motor que cumpla con las especificaciones de FSAE y expectativas de diseño.*
2. *Que nos brinde la máxima potencia, mayor par, mejor elasticidad y mayor relación de compresión.*



Los motores que cumplen con el primer punto son los que se ven en la Tabla 2.2.1.4.d., ya que son motores de cuatro tiempos y cilindrada no mayor a los 610 [cc].

Tabla 2.2.1.4.d. Motores que cumplen con las Especificaciones de FSAE.

Modelo de Motor	Número de Cilindros	Cilindrada	Rc	Válvulas	$N_{máx.}$ [CV]	$P_{máx.}$ [kg-m]	$P_N$ [kg-m]	$n_N$ [RPM]	$n_P$ [RPM]	$e_p = P_{máx.}/P_N$	$e_n = n_N/n_P$	$E = e_p * e_n$
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	114.2	6.7	6.2	13100	10750	1.081	1.219	1.317
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	12.4:1	DOHC 16V	111.6	6.5	6.5	12250	12250	1.000	1.000	1.000
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	12:1	DOHC 16V	110.3	6.8	6.5	12500	10000	1.046	1.250	1.308
Honda CBR 600 SPORT	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	110.3	6.8	6.5	12500	10000	1.046	1.250	1.308
Kawasaki ZX-6 RR	4	599 cc	13:1	DOHC 16V	106.7	5.8	5.4	14100	12700	1.074	1.110	1.192
Triumph Daytona 600	4	599 cc	12.5:1	DOHC 16V	103	6.1	5.9	12300	11400	1.034	1.079	1.116
Yamaha FZ6 600 FAZER	4	600 cc	12.2:1	DOHC 16V	99.2	6.1	5.7	12150	11000	1.070	1.105	1.182
Yamaha FZ6	4	600 cc	12.2:1	DOHC 16V	98.1	6	5.7	12100	10650	1.053	1.136	1.196
Honda CB 600 F	4	600 cc	12:1	DOHC 16V	89.4	6.6	5.2	12150	9350	1.269	1.299	1.649
Yamaha FZS 600 FAZER	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	86.8	5.9	5.3	11500	10000	1.113	1.150	1.280
Honda CBF 600 S	4	599 cc	11.6:1	DOHC 16V	77.3	6.1	5.5	10075	7850	1.109	1.283	1.423
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	11.3:1	DOHC 16V	71	6.2	6.2	9800	9800	1.000	1.000	1.000

Para cumplir con en el segundo punto analizaremos las siguientes tablas 2.2.1.4. e, f, g, h.

Tabla 2.2.1.4.e. Mayor Potencia en [CV].

Modelo de Motor	Número de cilindros	Cilindrada	$N_{máx.}$
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	114.2
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	111.6
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	110.3
Honda CBR 600 SPORT	4L	599 cc	110.3
Kawasaki ZX-6 RR	4	599 cc	106.7
Triumph Daytona 600	4	599 cc	103
Yamaha FZ6 600 FAZER	4	600 cc	99.2
Yamaha FZ6	4	600 cc	98.1
Honda CB 600 F	4	600 cc	89.4
Yamaha FZS 600 FAZER	4L	599 cc	86.8
Honda CBF 600 S	4	599 cc	77.3
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	71

Tabla 2.2.1.4.f. Mayor Par en [kg-m].

Modelo de Motor	Número de cilindros	Cilindrada	$P_{máx.}$
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	6.8
Honda CBR 600 SPORT	4L	599 cc	6.8
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	6.7
Honda CB 600 F	4	600 cc	6.6
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	6.5
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	6.2
Honda CBF 600 S	4	599 cc	6.1
Triumph Daytona 600	4	599 cc	6.1
Yamaha FZ6 600 FAZER	4	600 cc	6.1
Yamaha FZ6	4	600 cc	6
Yamaha FZS 600 FAZER	4L	599 cc	5.9
Kawasaki ZX-6 RR	4	599 cc	5.8

Tabla 2.2.1.4.g. Mayor Elasticidad (adimensional).

Modelo de Motor	Número de cilindros	Cilindrada	$E = e_p * e_n$
Honda CB 600 F	4	600 cc	1.649
Honda CBF 600 S	4	599 cc	1.423
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	1.317
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	1.308
Honda CBR 600 SPORT	4L	599 cc	1.308
Yamaha FZS 600 FAZER	4L	599 cc	1.280
Yamaha FZ6	4	600 cc	1.196
Kawasaki ZX-6 RR	4	599 cc	1.192
Yamaha FZ6 600 FAZER	4	600 cc	1.182
Triumph Daytona 600	4	599 cc	1.116
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	1.000
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	1.000

Tabla 2.2.1.4.h. Mayor Relación de Compresión Rc.

Modelo de Motor	Número de cilindros	Cilindrada	Rc
Kawasaki ZX-6 RR	4	599 cc	13:1
Triumph Daytona 600	4	599 cc	12.5:1
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	12.4:1
Yamaha FZ6	4	600 cc	12.2:1
Yamaha FZ6 600 FAZER	4	600 cc	12.2:1
Honda CB 600 F	4	600 cc	12:1
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	12:1
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	12:1
Honda CBR 600 SPORT	4L	599 cc	12:1
Yamaha FZS 600 FAZER	4L	599 cc	12:1
Honda CBF 600 S	4	599 cc	11.6:1
Suzuki GSX 600 F	4	599 cc	11.3:1



Con esto y en base a los tres primeros motores colocados en orden decreciente de acuerdo a sus diferentes características de potencia máxima, par máximo, elasticidad y relación de compresión; podemos determinar que los motores con mejores prestaciones en potencia máxima son el **Honda CBR 600 RR**, el **Honda CBR 600 F SPORT** y el **Yamaha YZF R6**; ya que el primero entrega 114.2 [CV] de potencia máxima, el segundo 110.3 [CV] y el tercero nos da 111.6 [CV]. En cuanto al Par Máximo, el CBR 600 RR entrega 6.7 [kg-m], el CBR 600 F SPORT 6.8 [kg-m] y el YZF R6 genera 6.5 [kg-m].

Los motores Honda como puede observarse, son muy estables ya que tienen los mejores índices de elasticidad según la Tabla 2.2.1.4.c., la siguiente marca es Yamaha, en seguida Kawasaki y Suzuki. La elasticidad del CBR 600 RR es de 1.317, la del CBR 600 F SPORT es 1.308 y el del YZF R6 es de 1.000. La razón por la que este último ha sido seleccionado como tercera opción, es que este motor entrega mejor relación de compresión llegando a 12.4:1, mientras que el CBR 600 RR y CBR 600 F SPORT tiene una relación de compresión de 12:1.

Los Motores ha considerar en el Diseño del Vehículo FSAE, serán los que hemos mencionado anteriormente y que se resumen a continuación en la Tabla 2.2.1.4.i.

Tabla 2.2.1.4.i. Motores Seleccionados para el Diseño del Vehículo FSAE.

Modelo de Motor	Número de Cilindros	Cilindrada	Rc	Válvulas	$N_{m\acute{a}x.}$ [CV]	$P_{m\acute{a}x.}$ [kg-m]	$P_N$ [kg-m]	$n_N$ [RPM]	$n_P$ [RPM]	$e_p = P_{m\acute{a}x.}/P_N$	$e_n = n_N/n_P$	$E = e_p * e_n$
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	114.2	6.7	6.2	13100	10750	1.081	1.219	1.317
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	12:1	DOHC 16V	110.3	6.8	6.5	12500	10000	1.046	1.250	1.308
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	12.4:1	DOHC 16V	111.6	6.5	6.5	12250	12250	1.000	1.000	1.000

Hemos terminado con la parte que produce el movimiento del vehículo, pero eso no es todo, el siguiente paso es estudiar el sistema de transmisión de potencia hacia las ruedas, que es donde existe el mayor número de pérdidas de potencia debido a la fricción de las piezas que componen dicho sistema y que es necesario para que se cumplan los objetivos de funcionalidad y competitividad del vehículo.

### 2.3. TRANSMISIÓN.

En el segundo apartado de este capítulo, se realizó el análisis comparativo para seleccionar el motor que se utilizará en el diseño del vehículo FSAE. Hasta este momento, hemos visto algunos aspectos importantes en la selección del motor, como lo son: la potencia máxima, el par máximo y el índice de elasticidad; pero todo esto, va ligado con la relación de transmisión.



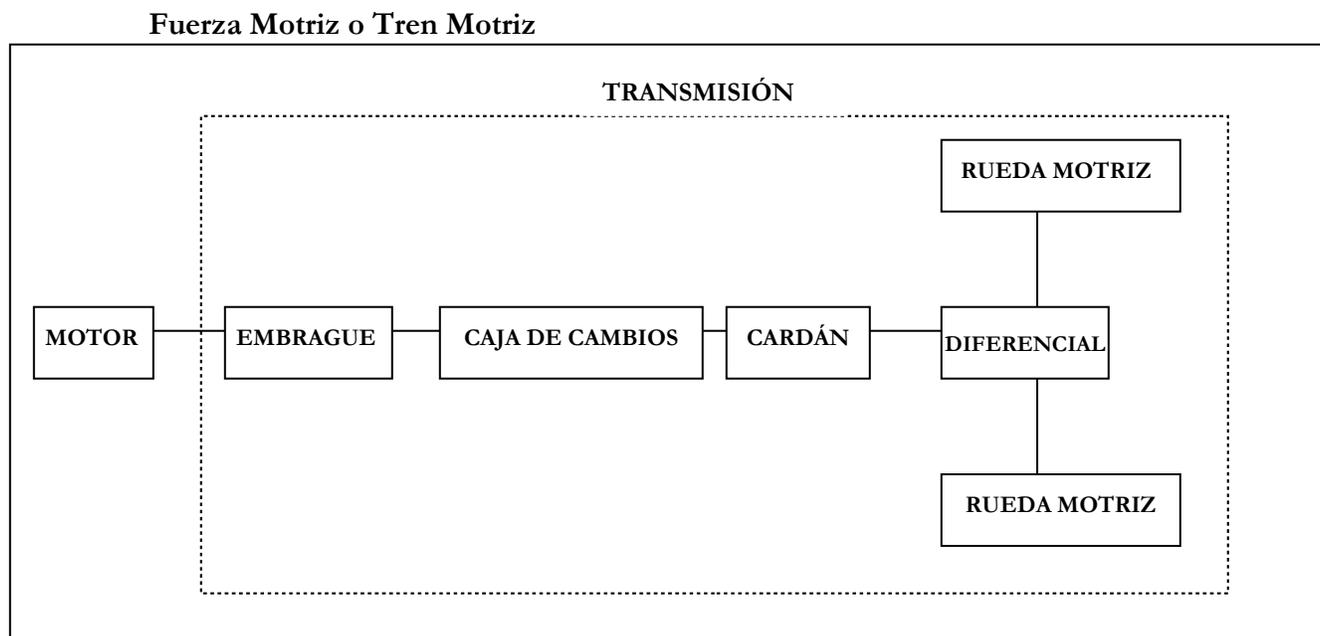
Por lo tanto, ahora toca el turno para seleccionar el embrague, la caja de cambios, los semiejes de transmisión y el diferencial o puente motriz; que se acoplarán en conjunto al desempeño de toda la fuerza motriz, ya que sólo de ésta manera, se conseguirá una tracción adecuada hacia las ruedas del vehículo.

La transmisión, debe proporcionar a las ruedas, la fuerza necesaria para vencer el propio peso del vehículo y hacer que éste se mueva, debe vencer la resistencia del camino, la resistencia del aire, proporcionar eficiencia a la respuesta de los sistemas en conjunto en diferentes condiciones presentes dentro de la pista (giro del vehículo, subida de pendientes, entre otros) y desplazarse a una velocidad considerable para la competencia. Para que la transmisión pueda dar solución a todo esto, es necesario tener un reductor de velocidad hacia las ruedas, en conjunto con un cambio escalonado en la relación de transmisión. Lo primero se consigue con el diferencial y, lo segundo, con la caja de cambios.

La transmisión o tren de transmisión, debe estar integrada por el embrague, caja de cambios, árbol de transmisión o cardán, diferencial y ruedas motrices. Este sistema es el que se encarga de transmitir la potencia producida por el motor hasta las ruedas del vehículo en diferentes relaciones de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas.<sup>[2]</sup>

El siguiente diagrama de bloques, nos ilustra los componentes que conforman la Fuerza Motriz del Vehículo FSAE, con el objetivo de determinar los sistemas con los que se relacionará el motor, a fin de aprovechar al máximo la potencia y características que éste nos proporciona (Fig. 2.3.).

Fig. 2.3. Representación Esquemática de los Sistemas que Integran el Tren Motriz.





### 2.3.1. DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN DEL FSAE.

Después de haber definido los diferentes sistemas que componen la transmisión de un vehículo de competencia y observar la importancia que juegan dentro del mismo, empezaremos a seleccionar el conjunto de transmisión que mejor se adapte a nuestras necesidades en el diseño del FSAE.

Este sistema, es el que se encarga de transmitir la potencia producida por el motor, hasta las ruedas del vehículo en diferentes relaciones de transmisión entre el cigüeñal y las llantas. Para que ésta transmisión sea efectiva, necesitaremos de varios sistemas que la conviertan.

Formalmente se pueden mencionar los requerimientos de un sistema de transmisión como sigue:<sup>[2]</sup>

1. **Motor:** Fuerza necesaria para desplazar el vehículo.
2. **Embrague:** Hacer posible la conexión y desconexión del motor respecto de las ruedas.
3. **Caja de Cambios:** Disponer de varias marchas o relaciones de transmisión.
4. **Diferencial:** Repartir el par entre las distintas ruedas motrices y permitir que estas giren a diferente velocidad.
5. **Juntas Universales:** Permitir desplazamientos y giros relativos entre el motor y las ruedas motrices.

Muchos sistemas de transmisión, incorporan estos requerimientos con componentes específicos para el diseño de cada vehículo en particular. Sin embargo, para nuestro diseño tendremos que incorporarlos, ya que el objetivo del sistema de transmisión es obtener un buen desempeño en el funcionamiento dentro de la competencia.

Para conocer, cuál será la potencia transmitida del motor hacia las ruedas motrices, es necesario determinar, entre otros aspectos, la eficiencia del sistema de transmisión, incluyendo las piezas y mecanismos que la integran. El objetivo primordial en esta parte del diseño del vehículo, es reducir las pérdidas de potencia que se generen al llegar a las ruedas (a la salida del sistema), aprovechando al máximo nuestro motor y obteniendo la máxima eficiencia de todos los sistemas en conjunto.<sup>[4]</sup>

En la eficiencia del sistema de transmisión, influyen diversos factores como: la utilización de una caja de velocidades manual o automática, el número de ejes (árboles de transmisión) que se utiliza para la tracción de las llantas, entre otros. Para nuestro caso, usaremos una caja de velocidades manual y un sólo eje o árbol de transmisión. Esto lo podemos representar en un diagrama de bloques y conocer la eficiencia en cada punto de la transmisión (Fig. 2.3.1.).

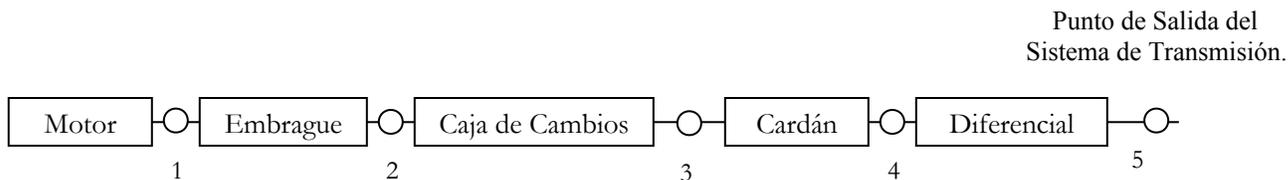


Fig. 2.3.1. Diagrama de Bloques del Sistema de Transmisión.

Por definición de Eficiencia, puede escribirse que la Eficiencia Total del Sistema de Transmisión para el diagrama representado es:

$$\eta_t = \frac{N_5}{N_1} = \frac{N_r}{N_m} \dots\dots\dots (2.3.1.a.)$$

Donde:

$\eta_t$  - Eficiencia Total del Sistema de Transmisión.

$N_5$  - Potencia a la salida del sistema de transmisión e igual a la potencia en las ruedas motrices  $N_r$

$N_1$  - Potencia a la entrada del sistema de transmisión e igual a la potencia que entrega el motor  $N_m$

Para obtener la eficiencia de un conjunto cualquiera del sistema de transmisión, sólo basta con realizar el cociente de la potencia a la salida entre la potencia de entrada del conjunto analizado.

Por ejemplo, la eficiencia de la caja de velocidades será:

$$\eta_{cv} = \frac{N_3}{N_2} \dots\dots\dots (2.3.1.b.)$$

Donde:

$\eta_{cv}$  - Eficiencia de la Caja de Velocidades.

Por lo que, la **Eficiencia Total de Transmisión** de todo el conjunto será:

$$\eta_t = \eta_{embrague} \times \eta_{cv} \times \eta_{cardán} \times \eta_{diferencial} = \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \left( \frac{N_3}{N_2} \right) \left( \frac{N_4}{N_3} \right) \left( \frac{N_5}{N_4} \right) = \left( \frac{N_5}{N_1} \right) \dots\dots\dots (2.3.1.c.)$$

Con lo anterior, la potencia entregada a las ruedas motrices se obtiene con la siguiente expresión:

$$N_r = N_m \times \eta_t \dots\dots\dots (2.3.1.d.)$$



### 2.3.2. SISTEMA DE EMBRAGUE.

El embrague permite acoplar o desacoplar al cigüeñal y el tren de transmisión que proporcionan tracción a las ruedas motrices. Éste u otro sistema de desconexión es necesario, ya que el motor del automóvil se debe arrancar sin carga, es decir, para que el motor pueda transmitir energía, debe girar a una velocidad razonable de unos cientos de revoluciones por minuto. Como la velocidad a la que gira el motor cuando arranca es inferior a las 100 [RPM], el cigüeñal no podría seguir girando si le aplicamos o conectamos una carga.<sup>[5]</sup>

Por lo anterior, es necesario conectar el embrague en el tren de transmisión, entre el cigüeñal y la caja de velocidades, esto hace que el motor pueda girar libremente sin entregar energía a la transmisión, por lo que nos permite maniobrar para hacer los cambios de velocidades a mayor o menor relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas. Uno de los principales objetivos del embrague, es desacoplar temporalmente el motor y la caja de cambios para que puedan cambiarse las relaciones de engranaje.

#### 2.3.2.1. SELECCIÓN DEL EMBRAGUE.

Para el caso del FSAE, el embrague enlaza al motor con el resto de la transmisión. Es decir, éste, une el volante de inercia del motor con el eje primario de la caja de cambios, independientemente de las posiciones de embrague.

Las diferentes posiciones o configuraciones de embrague que hacen posible el acoplamiento del sistema de transmisión, las podemos encontrar como sigue:

- Embragado (ambas partes unidas).
- Desembragado (ambas partes separadas).

*Los Tipos de Embrague más frecuentes son:*<sup>[2]</sup>

- a) *De Cono*: Ocupan demasiado espacio y son muy pesados, estos son utilizados en vehículos de dos plazas o más.
- b) *De Disco Seco (mono-disco y doble disco)*: Ocupan menos espacio que los de cono, pero siguen siendo pesados para nuestro diseño.



- c) *De Disco Húmedo (múltiple)*: En vehículos normales, se utilizan para transmitir el movimiento en forma automática, son demasiado pesados y ocupan mucho espacio en el bastidor. Sin embargo, se han diseñado este tipo de embragues en motocicletas, consiguiendo reducir su tamaño y por ende su peso.
- d) *Hidráulico con Convertidor de Par*: Se emplean cuando el embrague y el motor están muy distantes (por ejemplo en un motor trasero), para los cuales sería difícil un accionamiento con varillas.
- e) *Centrífugo*: El embrague está unido con el mecanismo de cambios, por lo que al aplicarse el pedal de cambios se desembraga permitiendo que los cambios de velocidad sean suaves y silenciosos. La desventaja es su peso, además de que se encuentra montado directamente con el cigüeñal y la transmisión es impulsada por engranes sin el uso de cadenas.

El tipo de embrague que mejor se adecua a nuestras necesidades de diseño y al óptimo desempeño del vehículo, es el Embrague Tipo Multidisco en Baño de Aceite, ya que son embragues muy pequeños por lo que ocupan poco espacio, son muy ligeros y de gran capacidad para transmitir pares, aumentando el número de discos (Fig. 2.3.2.1.).

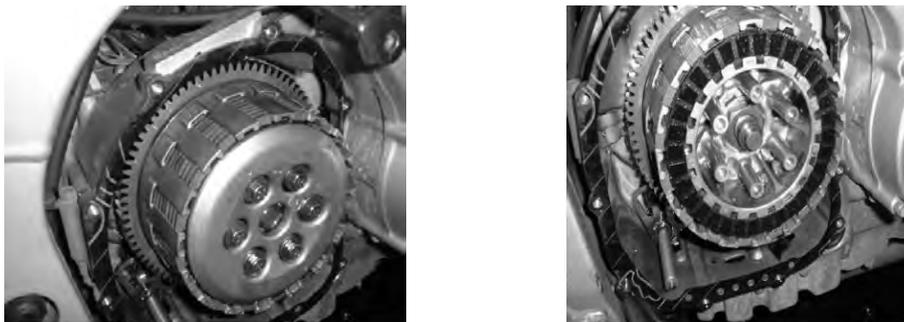


Fig. 2.3.2.1. Embrague Comercial Tipo Multidisco en Baño de Aceite.

Para el diseño del vehículo, se propone utilizar el embrague de tipo húmedo con múltiples discos, ya que éste, proporciona un cambio de velocidades uniforme a altas velocidades, el tamaño del embrague es reducido, tiene poca inercia (importante para hacer cambios rápidos) por lo que se puede acoplar perfectamente a las reglas que establece FSAE, y además son los más comerciales en la actualidad, por lo que el ensamble con el motor no se dificultará en gran medida.

En la selección del embrague, debemos considerar la compatibilidad del sistema de transmisión con el motor seleccionado, ya que esto reduce el tiempo de acoplamiento y garantiza la existencia de piezas comerciales. Por lo que para el motor Honda CBR 600 RR, Honda CBR 600 F y Yamaha YZF R6, se tiene un Embrague en Baño de Aceite con muelles helicoidales y, será este tipo de embrague, el que ocuparemos en el diseño del vehículo FSAE.



### 2.3.3. SISTEMA DE CAJA DE CAMBIOS.

La caja de cambios es el sistema que proporciona un medio para hacer variar la relación de engranes. De esta forma el cigüeñal puede girar cuatro, ocho o diez veces más que las ruedas. Algunas cajas de velocidades van provistas de un piñón inversor que permite la marcha atrás.

La Caja de Cambios es un mecanismo en el cual, cuando se mantiene la potencia  $N$  generada por el motor a un número determinado de giros o revoluciones  $n$ , transforma el par motor  $P$ , en otro mayor o menor, reduciendo o aumentando el número de vueltas.

La solución más versátil y extensa al problema de la transmisión variable, es la correspondiente a una caja con varias relaciones de cambio. Para obtener la *Relación de Transmisión del Vehículo*, se define como la razón de cambio de la *Velocidad Angular de las Ruedas Motrices* a la *Velocidad Angular del Motor*.

$$i = \frac{\omega_{rueda}}{\omega_{motor}} \dots\dots\dots (2.3.3.a.)$$

Donde:

$i$  Relación de Transmisión de la Caja de Velocidades.

$\omega_{rueda}$  Velocidad Angular de la Rueda Motriz.

$\omega_{motor}$  Velocidad Angular del Motor o Cigüeñal.

En la selección de las relaciones de transmisión de la caja de cambios y número de relaciones disponibles a considerar, influyen *criterios técnicos y económicos*. En el caso de los técnicos, puede tomarse principalmente que es un vehículo de pista, y por tanto, la caja de velocidades debe ser ligera, con una marcha suave y debe proporcionar cambios secuenciales y sincronizados a la respuesta del embrague.<sup>[2]</sup>

Entre otros *criterios técnicos* tenemos:

1. *Que los cambios se hagan sin dificultad, para lo cual, es norma generalizada que las marchas se escalonen formando una progresión geométrica.*
2. *Ligar prestaciones mínimas y marchas que se desean conseguir.*
3. *Lograr que el motor funcione de forma casi constante en su zona de máximo rendimiento, es decir, en la zona alrededor de su máximo par.*



4. Que no se originen grandes saltos de vueltas, al pasar de una marcha a otra (hueco).

Si se desea que guarde una progresión geométrica, se procede del siguiente modo: se fija el número de velocidades hacia delante, por ejemplo 4 marchas. Esto puede verse en el siguiente Diagrama de Velocidades.

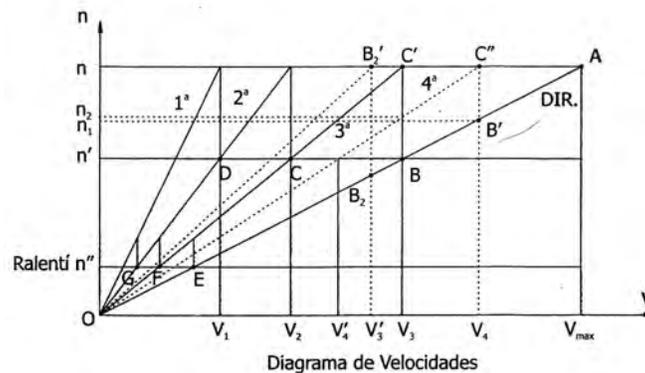


Fig. 2.3.3. Gráfica del Número de Vueltas del Motor en función de la Velocidad del Vehículo.

Algunas relaciones utilizadas que corresponden a una caja de cambios y un diferencial comerciales de motocicleta de pista, son:

$$i_1 = 0.0825, i_2 = 0.11, i_3 = 0.145, i_4 = 1.19, i_5 = 0.25, i_6 = 0.325 \quad \dots \quad (2.3.3.b.)$$

Para el diseño del vehículo FSAE, estamos buscando facilidad de ensamblaje y compatibilidad de piezas fabricadas, por tanto, la selección de la caja de velocidades que mejor se acopla al diseño de nuestro motor, es el equivalente en uso de manufactura japonesa Marca Honda y tiene las siguientes características:<sup>[6]</sup>

Tipo de transmisión: 6 velocidades Honda CBR 600 RR.

Relaciones de Cambio:

$$1^a = 2,750 (33/12), \quad 2^a = 2,000 (32/16), \quad 3^a = 1,666 (30/18), \\ 4^a = 1,444 (26/18), \quad 5^a = 1,304 (30/23), \quad 6^a = 1,208 (29/24).$$

En conclusión, la selección del sistema de embrague y caja de cambios, serían de igual forma de manufactura japonesa Marca Honda e irían en conjunto con la selección del motor Honda CBR 600; puesto que en la configuración final, el ensamble de estos tres elementos no tendría modificación y los costos de reparación y recambio serían con piezas comerciales.



### 2.3.4. ÁRBOL DE TRANSMISIÓN O CARDÁN.

En la mayoría de los vehículos, la transmisión hacia las ruedas motrices se realiza a través de la caja de cambios situada en la parte delantera del automóvil, en la cual se interconecta un eje (cardán o árbol de transmisión) entre dicha caja y el mecanismo motriz de las ruedas (diferencial y semiejes). Fig. 2.3.4.a.

Otros vehículos emplean la tracción delantera, en la que la caja de cambios se conecta directamente con el diferencial y semiejes (Fig. 2.3.4.b.). Hay automóviles de tracción trasera donde la caja de velocidades se conecta directamente con el diferencial y los semiejes (Fig. 2.3.4.c.).

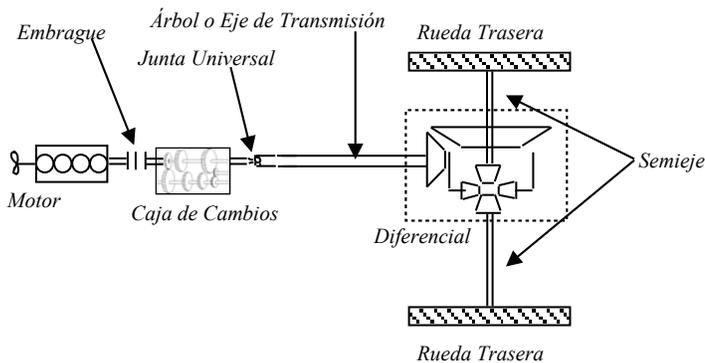


Fig. 2.3.4.a Motor Delantero en Posición Longitudinal y Tracción Trasera.

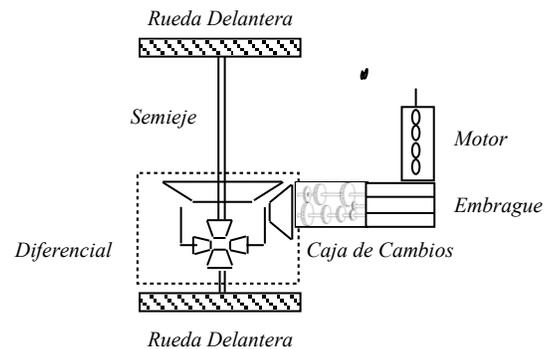


Fig. 2.3.4.b. Motor Delantero en Posición Transversal con Tracción Delantera.

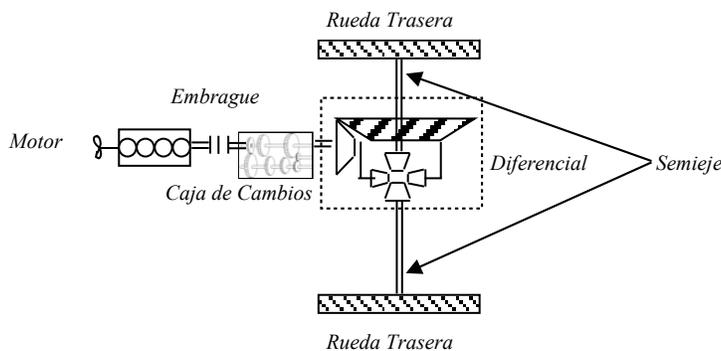


Fig. 2.3.4.c. Motor Trasero en Posición Longitudinal.



El árbol de transmisión empleado en el modelo normal de motor delantero y ruedas traseras motrices, es un sistema simple con un eje rectilíneo, donde en uno de sus extremos va unido a la caja de cambios que está montada rígidamente y, por el otro, va unido al diferencial o puente motriz.

### 2.3.5. DIFERENCIAL O PUENTE MOTRIZ.

Este dispositivo no sería necesario, si el vehículo tuviera que ir siempre en línea recta y sin tener que girar. Sin embargo, cuando un vehículo cambia de dirección, la rueda exterior efectúa un recorrido más largo que la rueda interna. Por lo tanto si el árbol de transmisión estuviera engranado rígidamente a las ruedas traseras para que ambas puedan girar a la misma velocidad, cada una de ellas resbalaría determinada distancia sin girar.

En esta situación, los neumáticos se desgastarían muy rápido y sería difícil el control del vehículo en las curvas. Por lo tanto, el diferencial es un elemento mecánico que elimina estos problemas ya que al cambiar de dirección las ruedas efectúan giros diferentes.

El principal objetivo o función que debe lograr el Diferencial en el diseño del FSAE, es el de proporcionar estabilidad en la conducción del vehículo, evitando que se levante; al mismo tiempo en que debe proporcionar una tracción inmediata de las ruedas a la respuesta del motor y de los sistemas de transmisión en conjunto. Para llevar a cabo esto, es necesario que el diferencial cumpla lo siguiente:

1. Efectuar un cambio de  $90^\circ$  y una reducción en el giro proporcionado por el motor para llevarlo a las ruedas (Esto se consigue con un conjunto de piñón y corona; a este tipo de engranaje se le conoce como *grupo reductor*). Este par de engranajes se panean de forma cónica o paralela, dependiendo de la disposición del motor.
2. Disponer de un mecanismo que haga girar con mayor velocidad a la rueda exterior en las curvas (Esto se logra mediante piñones satélites y piñones planetarios).

Por lo tanto, la transmisión final tendrá dos semiejes de transmisión o palieres a su salida, que transmitirán el movimiento a las ruedas posteriores. El diferencial será de tipo TorSen (Torque Sensitive). Éste, es un tipo de diferencial, cuya peculiaridad radica en que reparte la fuerza que procede del motor a las ruedas de forma independiente a la velocidad rotatoria de cada uno de los dos árboles o semiejes de transmisión que parten de él. Su gran virtud es que puede transmitir, en una curva, más par a la rueda que menos gira, en contraposición al resto de diferenciales. Esta elección se basa en la finalidad de transmitir la máxima potencia posible en curvas de radio constante y a la salida de las curvas en general, además otra razón importante, es la de mantener los neumáticos, siempre en contacto con el terreno, ya que es un vehículo de pista y su plataforma es muy baja.



Fig. 2.3.5. Diferencial o Puente Motriz Tipo TorSen.



### 2.3.6. SELECCIÓN DEL DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN.

El Diseño del Sistema de Transmisión del Vehículo FSAE, debe proporcionar a las Ruedas, la Fuerza necesaria para vencer el propio peso del vehículo y hacer que éste se mueva, debe vencer la resistencia del camino, la resistencia del aire, proporcionar eficiencia a la respuesta de los sistemas en conjunto con las diferentes condiciones presentes dentro de la pista (giro del vehículo, subida de pendientes, entre otros), y desplazarse a una velocidad considerable para la competencia.

Como es el caso de la mayoría de los vehículos participantes y, al ser un Vehículo de Carreras tipo Fórmula, la configuración de diseño seleccionada para el vehículo FSAE, es con un motor en posición trasera dispuesto en forma transversal, por lo que el diferencial debe trasladar paralelamente el movimiento que recibe directamente de la caja de cambios, haciéndolo llegar a las ruedas a través de los semiejes.

Con ésta relación en la configuración del sistema de transmisión, podemos sugerir la siguiente disposición del sistema de transmisión con el motor del automóvil colocado en la parte trasera como puede observarse (Fig. 2.3.6).

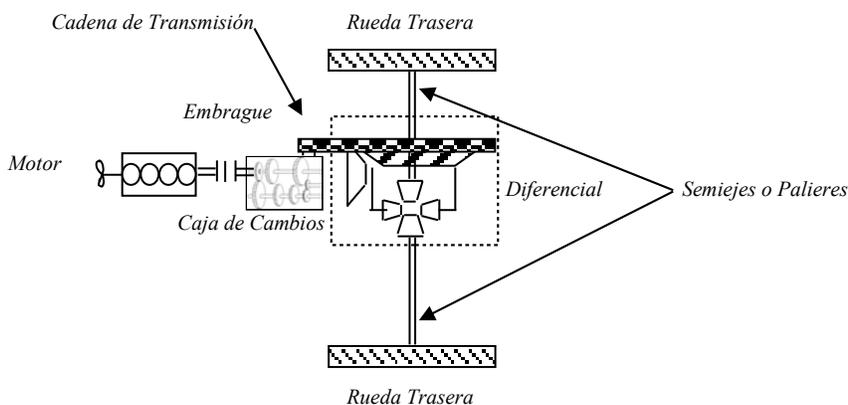


Fig. 2.3.6. Configuración del Sistema de Transmisión del Vehículo FSAE dispuesto con Motor Trasero.



## 2.4. ESTRUCTURA.

La estructura es uno de los sistemas más importantes del vehículo, ya que engloba todos y cada uno de los elementos, mecanismos, sistemas y sub-sistemas dentro de la misma. El propósito de la estructura, es conectar y dar rigidez a la suspensión delantera y trasera, al mismo tiempo, el armazón debe proporcionar y proveer puntos de sujeción a todos los dispositivos del vehículo, los cuales no deben producir acción alguna sobre el vehículo, tales como: la dirección, el motor y el tren motriz, el sistema de frenado, la carrocería, etc.; así como los diferentes dispositivos de funcionamiento del vehículo.<sup>[7]</sup>

La estructura debe de cumplir diferentes características, entre las más importantes se encuentran: el tener una alta rigidez a la torsión para evitar flexiones que son desfavorables para la funcionalidad del vehículo; debe ser lo suficientemente rígida para soportar los esfuerzos estructurales permisibles causados por las condiciones del terreno y debe ser lo más ligera posible para romper la inercia y alcanzar velocidades muy altas (por arriba de los 120 [km/h]) que sean establecidas para la competencia.

Para poder abordar el diseño que tendrá la estructura del vehículo FSAE, es necesario revisar y entender exhaustivamente las especificaciones y los requerimientos técnicos del reglamento vigente. Esto, con la finalidad de diseñar un armazón con el menor material posible y cumpliendo con las cargas máximas permisibles para los materiales empleados y que deba soportar dentro de un análisis, la carga y esfuerzos dentro de un programa CAD y FEM. Estos análisis, nos permiten obtener resultados satisfactorios con factores de seguridad superiores, que mantengan las cargas establecidas en puntos críticos, clave y específicos de la estructura por debajo de las puntos de falla y, éste diseño dibujado y analizado, sea el más viable y óptimo para realizar su fabricación y no caer en alguna penalización (sobre todo en la revisión técnica) o incluso descalificación de la competencia por no cubrir los requisitos del reglamento.<sup>[1]</sup>

### 2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y ANTROPOMETRÍA.

Hay muchos estilos y tamaños diferentes de estructuras y sobre todo de armazones de vehículos de carreras. El estilo más popular del FSAE, está hecho en toda su mayoría y secciones de estructura tubular. El miembro del armazón es una serie de tubos, los cuales son unidos para formar una estructura que conecte todos los componentes necesarios juntos. Sin embargo, muchos de los conceptos teóricos pueden ser aplicados para el diseño de otro tipo de vehículos, modificando la estructura y el chasis.

En el caso específico del FSAE, la estructura debe cumplir con un aspecto fundamental que es el de la seguridad. Ésta, debe ser capaz de soportar y absorber la energía que puede ser causada por uno o varios

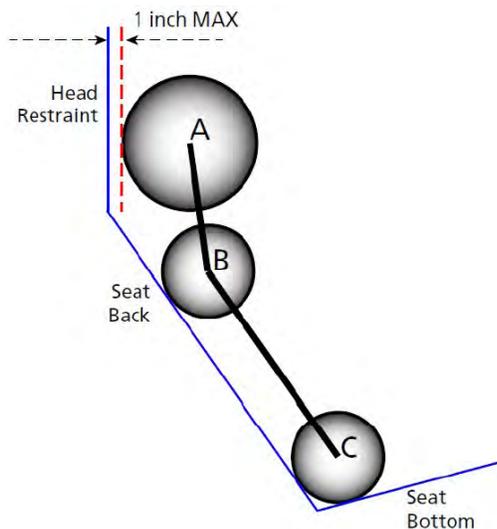


posibles impactos, de tal manera que el piloto salga ileso ante tales circunstancias. Además debe ser diseñada de tal forma que el acceso sea fácil y rápido ante el caso de que el piloto tenga que salir de emergencia.

La *antropometría*, es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano. Estudia las dimensiones tomando como referencia, distintas estructuras anatómicas y sirve de herramienta a la ergonomía, con el objeto de adaptar el entorno a las personas.<sup>[8]</sup>

Para ello, se requerirá de un estudio ergonómico preliminar, en las relaciones dimensionales del cuerpo humano para un sistema de control (manual, mecánico o automático) caracterizado por su grado, conocido como relación hombre-máquina, el cual establece, que deben intervenir ciertas necesidades para que el usuario interactúe con el medio, entre ellas se encuentran: bienestar, salud, productividad, calidad, satisfacción en el área de trabajo, etc.<sup>[9]</sup> En nuestro caso, el estudio ergonómico, definirá las dimensiones que deberá tener el diseño de la estructura cumpliendo con las medidas antropométricas establecidas dentro del reglamento.<sup>[1]</sup>

Al definir la geometría y dibujar la forma que tendrá la estructura, y en general todo el vehículo FSAE, debemos considerar las medidas antropométricas de diseño que debe de cumplir el prototipo. A continuación, se describen las características en las dimensiones que debe tener la cabina del vehículo, donde va colocado el piloto dentro del habitáculo, establecidas dentro del reglamento.<sup>[Apéndice: B]</sup>



Circulo	Zona del Cuerpo	Diámetro [mm]
A	Cabeza con Casco	300
B	Hombros	200
C	Cadera y Glúteos	200

Línea	Distancia de Centro a Centro [mm]
A-B	280
B-C	490

Otro factor decisivo a considerar dentro del diseño de la estructura, es que, como el vehículo debe ser conducido por personas de diferente estatura y peso, la distancia y dimensiones de los componentes y piezas dentro del armazón, es de gran importancia como consideración en la interacción de otros usuarios con el vehículo. Es por esta razón, que el estudio antropométrico permitirá determinar la posición y altura del asiento, volante, pedales y elementos dentro de la estructura que se encuentren más cercanas a la posición de conducción del piloto, evitando que ésta disposición infiera con el manejo y maniobra del vehículo.<sup>[10 y Apéndice C]</sup> Esto se logra, determinando los rangos de movimiento del usuario, como son: la acción de giro del volante, la activación de los pedales de mando, el rango de visibilidad del piloto, el espacio de acceso al vehículo, entre otros (Fig. 2.4.1.).

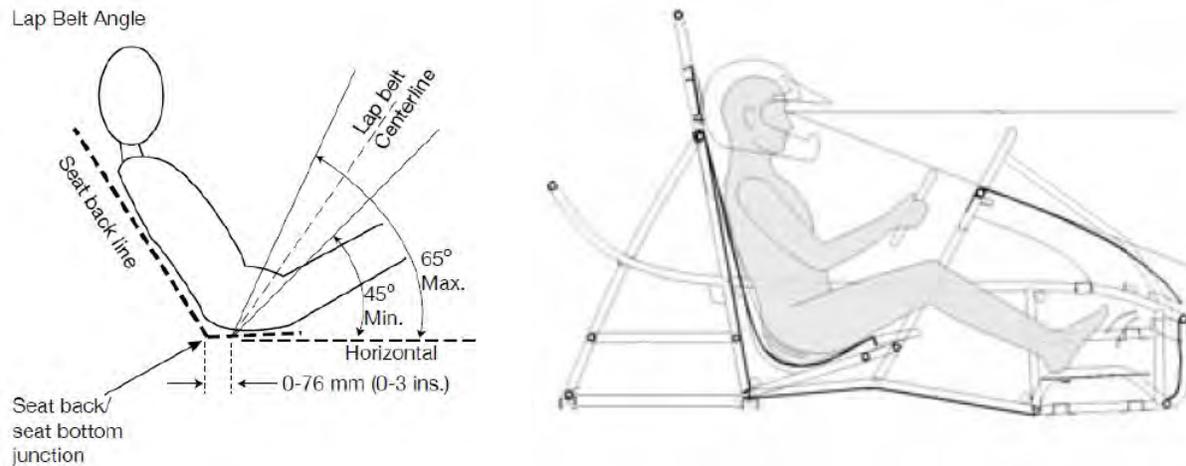


Fig. 2.4.1. Posición y Restricciones de Manejo de un Piloto, sobre el Vehículo Deportivo FSAE.

**Los Objetivos en la Construcción del Sistema del Armazón o Estructura son:**<sup>[11]</sup>

1. Diseñar una estructura que cumpla con los requerimientos mínimos de seguridad, así como las dimensiones mínimas y máximas especificadas dentro del reglamento.
2. Asegurarse de que el tubo de la estructura cumpla con los valores mínimos de rigidez y resistencia a la flexión, así como rigidez torsional especificados en el reglamento, realizando una apropiada selección del material.
3. Investigar y seleccionar el tipo de estructura más apropiada para el vehículo.
4. Realizar el diseño en un programa CAD (Diseño Asistido por Computadora).
5. Diseñar los soportes de los diferentes sistemas.
6. Realizar un Análisis de Elemento Finito (FEA) mediante un software especializado, tanto de la estructura, así como de la zona frontal y lateral de impacto para garantizar que se absorba la mayor parte de la energía transmitidas en los mismos.
7. Realizar los planos de cada una de las piezas (planos de fabricación, ensamble y conjunto).

### 2.4.1.1. REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES.

Entre otros requerimientos, la estructura del vehículo debe incluir dos bastidores principales (Roll Hoops) que están colocados de forma interpuesta, uno en la zona frontal del piloto y otro detrás del torso del mismo (Firewall); un bastidor frontal (Bulkhead) con un sistema de apoyo o soporte con un atenuador de impacto en la parte delantera del vehículo y, una zona de impacto en ambos lados de la estructura.



Los siguientes conceptos definen los elementos del armazón que forman la estructura del FSAE:<sup>[1]</sup>

- **Main Roll Hoop:** Es una barra tubular (roll bar) localizada a lo largo o justo detrás del torso del piloto.
- **Front Roll Hoop:** Es una barra tubular (roll bar) localizada por encima de las piernas del piloto, en la proximidad del volante.
- **Miembro del Armazón:** Es la representación mínima de una pieza simple sin cortes, es decir, de tubería continua.
- **Armazón (Frame):** El armazón, es el ensamble estructural diseñado para soportar todos los sistemas funcionales del vehículo. Éste ensamble debe ser una estructura simple soldada, de múltiples ensambles soldados o una combinación de estructuras mixtas (compuestas y soldadas).
- **Estructura Primaria:** La estructura primaria está comprendida por los siguientes componentes del armazón: Main Hoop, Front Hoop, Abrazaderas del Roll Hoop, Zona de Impacto, Front Bulkhead, Sistema de Apoyo del Front Bulkhead y todos los Miembros del Armazón, guías y soportes que transfieren carga de los sistemas de sujeción del piloto (Fig. 2.4.1.1.).
- **Estructura Principal del Armazón:** Es la porción del armazón que yace dentro de la cubierta definida por la estructura primaria. La porción más alta del Main Hoop y las abrazaderas del mismo, no incluyen en definición esta cubierta.
- **Front Bulkhead:** Es una estructura plana, que define la principal superficie frontal de la estructura del armazón y de los sistemas para proveer protección a los pies del conductor.
- **Atenuador de Impacto:** Es un mecanismo deformable, que sirve para medir la energía absorbida a través de un impacto, localizado adelante del Front Bulkhead.
- **Side Impact Zone:** Es el área lateral del vehículo que resguarda y se extiende desde el Front Roll Hoop hasta la parte trasera del Main Roll Hoop.

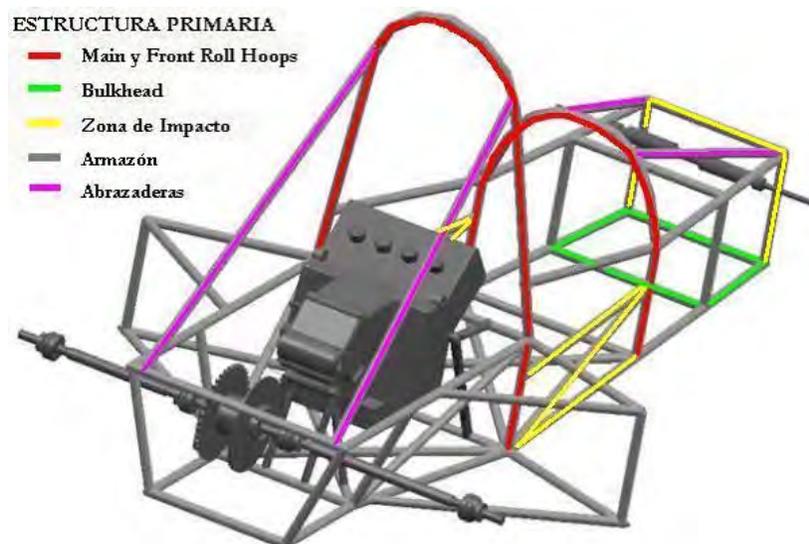


Fig. 2.4.1.1. Componentes de la Estructura.



### 2.4.2. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE MATERIAL.

La estructura principal del vehículo deberá estar construida por cualquiera de las siguientes dimensiones geométricas de tubería (Tabla 2.4.2.a.). Además el tubo de acero debe tener como mínimo 0.1% de carbono.

LUGAR DE APLICACIÓN	DIÁMETRO EXTERIOR Y ESPESOR DEL TUBO
Main y Front Hoop.	1.0 [inch] (25.4 [mm]) x 0.095 [inch] (2.4 [mm]) ó 25.0 [mm] x 2.50 [mm] en Sistema Métrico
Zona Lateral y Frontal de Impacto de la Estructura, Brazos de los Roll Hoops y Uniones del Sistema de Restricción del Cinturón de Seguridad del Piloto.	1.0 [inch] (25.4 [mm]) x 0.065 [inch] (1.65 [mm]) ó 25.0 [mm] x 1.75 [mm] en Sistema Métrico ó 25.4 [mm] x 1.60 [mm] en Sistema Métrico
Soporte Frontal del Bulkhead.	1.0 [inch] (25.4 [mm]) x 0.049 [inch] (1.25 [mm]) ó 25.4 [mm] x 1.25 [mm] en Sistema Métrico

Tabla 2.4.2.a. Dimensiones Geométricas del Tubo y Zona de Aplicación del Armazón.

*Nota:* El bastidor principal (Main Roll Hoop) y las abrazaderas del mismo, deberán estar hechas de acero. El uso de tubo de aluminio, titanio u otras aleaciones están prohibidos para estos componentes.

- **Requerimientos de Tubo de Acero.**

En la Tabla 2.4.2.b., se muestran los requerimientos para la construcción de los diferentes componentes de la estructura de tubo de acero con espesores mínimos permitidos.

MATERIAL Y APLICACIÓN	ESPESOR MÍNIMO DEL TUBO
Tubo de Acero para el Front y Main Roll Hoops.	2.0 [mm] (0.079 [inch])
Tubo de Acero para las Abrazaderas del Front y Main Roll Hoops y las Uniones del Cinturón de Seguridad.	1.6 [mm] (0.063 [inch])
Tubo de Acero para la Zona de Impacto de la Estructura y el Soporte del Bulkhead.	1.2 [mm] (0.047 [inch])

Tabla 2.4.2.b. Tubo de Acero.



• **Requerimientos de Tubo de Aluminio.**

En la Tabla 2.4.2.c., se muestran los requerimientos para el uso de la estructura de tubo de aluminio con espesores mínimos permitidos.

MATERIAL Y APLICACIÓN	ESPESOR MÍNIMO DEL TUBO
Tubo de Aluminio.	3.0 [mm] (0.118 [inch])

Tabla 2.4.2.c. Tubo de Aluminio.

El equivalente de la fuerza de cedencia debe ser considerada en la porción localizada en la soldadura, a menos que los equipos expongan y muestren las pruebas de que el armazón ha sido propiamente tratado térmicamente y envejecido artificialmente. La tubería de aluminio debe ser tratada térmicamente para facilitar su manejo, para incrementar su dureza y facilitar la aplicación de los procesos después de aplicarles la soldadura, así como la fijación e instalación de otros sistemas.

**2.4.2.1. ROLL HOOPS.**

El armazón debe incluir entre el compartimiento del piloto, un bastidor principal (**Main Roll Hoop**) situado en la parte posterior del mismo, a la altura del torso y; otro bastidor frontal (**Front Roll Hoop**), en la parte anterior de este, por encima y en la proximidad de las piernas (Fig. 2.4.2.1.a.).

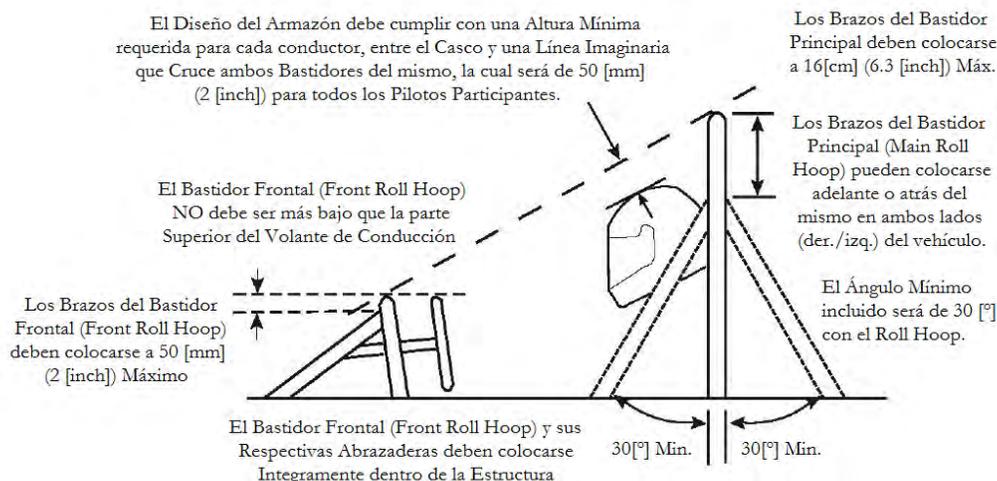


Fig. 2.4.2.1.a. Configuración de los Bastidores (Roll Hoops) de la Estructura.



Cuando está sentado normalmente el piloto y restringido por los sistemas de seguridad del vehículo, una línea recta es trazada de la parte más alta del **Main Hoop** a la parte más alta del **Front Hoop**, la cual, debe pasar libremente por arriba del casco del piloto a una distancia a no menos de 50.8 [mm] (2 [inches]) y del casco de todos los pilotos del equipo.

El radio mínimo de cualquier curva, medida en la línea central del tubo, debe ser menos de tres veces el diámetro exterior del tubo. Las curvas deben ser suaves y continuas, sin ninguna señal de imperfección o ruptura de falla en las paredes del tubo.

### 2.4.2.2. ZONA LATERAL DE IMPACTO DE LA ESTRUCTURA.

La Zona de Impacto de la Estructura debe involucrar todos los requerimientos expuestos en la sección 2.4.2.

La zona de impacto de la estructura, deberá constar de no menos de tres (3) miembros tubulares, localizados a los lados del cuerpo de trabajo de conductor (cabina), cuando éste se encuentra en la posición de conducción (Fig. 2.4.2.2.). Estos tres miembros requeridos, deberán construirse con el material y dimensiones expuestas en la sección 2.4.2.

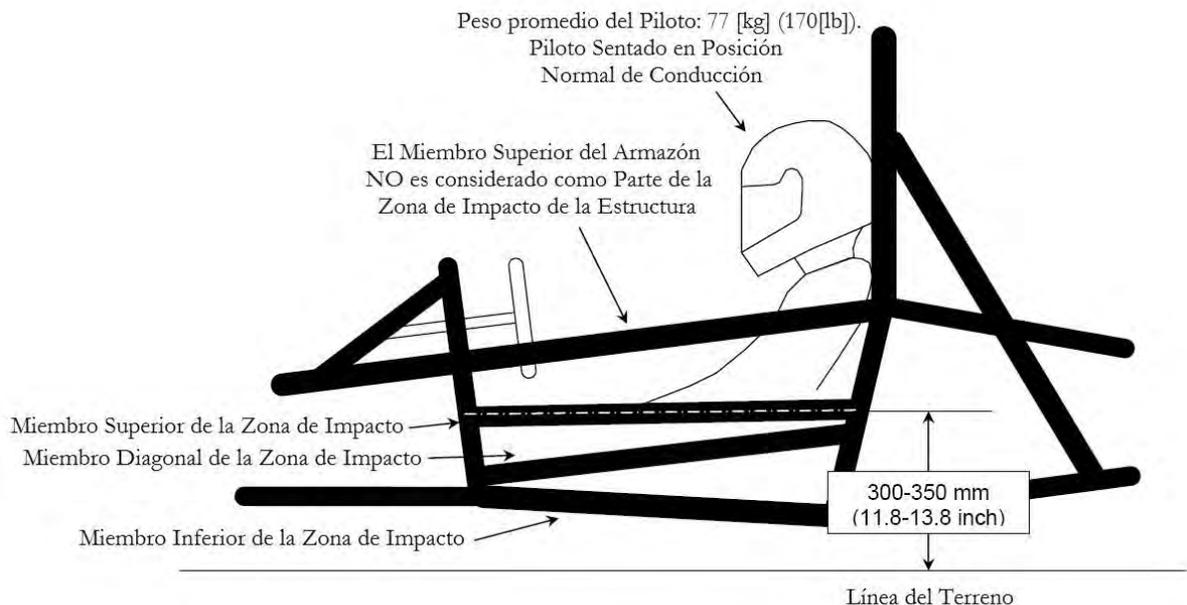


Fig. 2.4.2.2. Configuración y Dimensiones Máximas de la Zona Lateral de Impacto del Vehículo FSAE.

La ubicación y configuración de los tres miembros tubulares, es la siguiente:



- El miembro más alto o superior de la zona de impacto, deberá conectar el Main Hoop y el Front Hoop a una altura entre 300 [mm] (11.8 [inch]) y 350 [mm] (13.8 [inca]) por arriba del suelo, con el piloto colocado en la posición de conducción y con un peso mínimo estimado de 77[kg] (170 [pound]). El tubo superior del armazón de trabajo del piloto (cabina), será usado como este miembro de la zona de impacto, solo si cumple la altura, diámetro y espesor requerido.
- El miembro inferior de la zona de impacto, deberá conectar la parte más baja del Main Hoop y Front Hoop; así también, el tubo inferior del armazón de la cabina, podrá ser este miembro de la zona de impacto, si cumple con el diámetro y espesor requeridos.
- El miembro diagonal de la zona de impacto de la estructura (derecho e izquierdo), debe conectar los miembros superiores e inferiores de ésta, adelante del Main Hoop y atrás del Front Hoop.

*Nota:* Por la complejidad de diseño, ensamble y número de elementos involucrados en cada uno de los Sistemas que componen el Vehículo FSAE, sólo se realizará el Análisis de la Estructura dentro del Capítulo 4 de este Trabajo de Tesis; que es parte fundamental como Sistema Principal del Proyecto FSAE, establecido dentro del reglamento, el cual resguarda en su totalidad dichos sistemas y al propio piloto (debe considerarse realizar un análisis mucho más exhaustivo de todo el vehículo ensamblado y llevar a cabo este análisis bajo las mismas premisas y factores de seguridad y diseño) y, si es posible, estudiar el Comportamiento Dinámico del Vehículo y generar un Análisis Aerodinámico de un prototipo a escala, en conjunto con la Carrocería.

### 2.4.3. CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE.<sup>[1]</sup>

El vehículo debe tener una configuración con los neumáticos libres y descubiertos (Open-Wheeled), es decir, sin guardafangos y con el motor descubierto, con la forma de un pequeño vehículo de carreras estilo Fórmula (Fig. 2.4.3.a). Además no debe haber aperturas dentro de la cabina del piloto; del frente del vehículo, a la parte trasera (Roll Bar Main Hoop o Firewall), a menos que sea requerida. La mínima apertura de los componentes que se encuentran alrededor de la suspensión delantera, está permitida (Fig. 2.4.3.b).



Fig. 2.4.3.a. Serie FSAE.



Fig. 2.4.3.b. Suspensión Delantera.



Además, el vehículo debe tener un peso total aproximado de 300 [kg] (661[lb]), sin contar el peso del piloto y estar cubierto por una estructura sólida que permita ceder la fuerza elástica (flexión) y absorber la energía producida por un posible impacto; la velocidad de impacto a la que debe realizarse dicho análisis de flexión debe ser de 7.0 [m/s] (25.2 [km/h]).

También, debe tener una distancia mínima entre ejes de 1525 [mm] (60 [inches]). La distancia entre ejes, es medida del centro de contacto del terreno de las llantas delanteras y traseras respectivamente con las ruedas apuntando hacia adelante en línea recta y el espesor mínimo de la huella de las llantas delanteras debe ser de no menos del 75% de la huella de las llantas traseras (medido del centro de los neumáticos).

El chasis debe tener una protección contra impactos y los Roll Hoops deben construirse bajo el criterio de ciertos puntos de seguridad establecidos dentro del reglamento y requerimientos del FSAE.

El vehículo estará equipado con un sistema de frenado que opere sobre las cuatro ruedas, con dos circuitos independientes operados por un control o sistema simple. El tamaño de los neumáticos y tipo esta exento para cada equipo. Así mismo, el sistema de dirección deberá ser eficiente al control del camino y ágil en las pruebas de maniobrabilidad.

### 2.4.3.1. CARROCERÍA, ESTÉTICA Y AERODINÁMICA.

El Objetivo del Evento de Diseño dentro de la competencia, es evaluar el diseño aerodinámico e imagen más relevante y actual del vehículo-prototipo de carreras FSAE, así mismo debe mostrar e ilustrar el conocimiento, habilidades y herramientas de ingeniería que han sido involucradas en el diseño del mismo y que sea reconocida la propuesta real diseñada en una presentación de mercado.<sup>[1]</sup>

Es por ésta razón, que un factor clave e importante que debemos considerar al momento de diseñar la carrocería del vehículo FSAE, es la “**Aerodinámica**”, la cual influye en el consumo de combustible, la velocidad máxima y los niveles acústicos, entre otros factores; y la “**Estética**”, la cual atrae la atención y gustos del cliente o espectador, obteniendo mayor puntaje en la competencia hacia los jueces.

El Objetivo de Diseño de la Carrocería del Vehículo, es reducir la resistencia aerodinámica del aire y mantenerlo bajo, lo cual, a su vez se traduce en un menor consumo de combustible. La resistencia aerodinámica es causada por el desplazamiento del aire que rodea al vehículo y por la fricción entre el aire y las superficies del vehículo al pasar por encima de éstas. La resistencia actúa contra la dirección de desplazamiento del vehículo y varía en función de la velocidad del vehículo, del tamaño de su área frontal, del coeficiente de resistencia aerodinámica ( $C_x$ ) y de la densidad del aire.



Los diseños estrechos y en forma de punta de avión reducen el efecto de vibración, ya que desvían las líneas de flujo del aire, ayudando a mantener el coeficiente de resistencia bajo. También ejerce su influencia el diseño de alerones o spoilers y tomas de aire que evacuen o desvíen el fluido.<sup>[12]</sup>

Un factor muy importante que debe de tomarse en cuenta en el diseño de la carrocería, es el peso, debido a la cantidad de piezas que conforman este sistema. Se debe realizar una adecuada selección en el material para la carrocería, que sea ligero, resistente a los impactos, que sea fácil de trabajar, y que no sea costoso. Otro aspecto es la colocación de los paneles o piezas de la carrocería sobre el vehículo. Estos, deberán estar diseñados para que el acceso, el ensamble y desensamble de las piezas sea rápido, con el fin de tener acceso inmediato al interior del vehículo y a los diferentes sistemas que conforman la estructura.

### 2.4.3.2. RESISTENCIA DEL AIRE.

La resistencia aerodinámica es causada por el desplazamiento del aire que rodea al vehículo y por la fricción entre el aire y las superficies del vehículo al pasar por encima de éstas. La resistencia actúa contra la dirección de desplazamiento del vehículo y varía en función de la velocidad del vehículo, del tamaño de su área frontal, del coeficiente de resistencia aerodinámica ( $C_x$ ) y de la densidad del aire.<sup>[2]</sup>

Sobre la superficie exterior del automóvil, el cual se mueve en la atmósfera terrestre, actúa una fuerza denominada Resistencia del Aire. Esta fuerza, es la resultante de las fuerzas normales y tangenciales que actúan sobre la superficie total del vehículo. La **Fuerza de Resistencia del Aire**  $F_A$  se calcula en la dirección del movimiento del automóvil, y su sentido es contrario a la velocidad de éste. Por lo que, se dice que la Fuerza  $F_A$  es la resistencia frontal del aire, y se expresa:

$$F_A = C_x \times \frac{\gamma}{2g} \times A \times \left( \frac{V}{3.6} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2.4.3.2.a.)$$

Donde:

- $F_A$  Resistencia del Aire.
- $C_x$  Coeficiente de Resistencia Frontal del Aire.
- $\gamma$  Peso Específico del Aire.
- $g$  Aceleración de la Gravedad.
- $A$  Área de la Proyección del Vehículo sobre un Plano Perpendicular a su Eje Longitudinal.
- $V$  Velocidad del Automóvil.

Para las condiciones atmosféricas en la Ciudad de México:  $P_0 = 760$  [mm de Hg] y  $T_0 = 19$  [°C].



$$\frac{\gamma}{2g} = 0.125 \text{ [kg s}^2\text{/m}^4\text{]} \quad \dots\dots\dots (2.4.3.2.b.)$$

Por otra parte, para determinar el área frontal del vehículo, tenemos que:

$$A = m \times B \times H \quad \dots\dots\dots (2.4.3.2.c.)$$

Donde:

- m*    *Coficiente de Llenado del Aire (0.70-0.85).*
- B*    *Ancho de Vía del Vehículo.*
- H*    *Altura Máxima de Automóvil.*

El *Coficiente de Resistencia Frontal del Aire*  $C_x$  se determina experimentalmente. Las investigaciones para determinar de manera más aproximada dicho coeficiente, se llevan a cabo en modelos a escala en túneles de viento, a saber, se mide la fuerza frontal  $F_A$  y la velocidad del aire; conociendo las dimensiones del modelo y con la ayuda de la primer ecuación, se determina el coeficiente  $C_x$ . Para algunos casos, donde ya se ha determinado el coeficiente frontal de algunas geometrías, encontramos que para vehículos de competencia, el coeficiente oscila en  $C_x = 0.15$ .

Desde que comenzaron las competencias de vehículos de carreras, se tenía conocimiento de la importancia de la resistencia del aire o fuerzas aerodinámicas; aunque se carecía de estudios exactos y de medios para poder hacer automóviles más eficaces en este sentido. Es por tal motivo, que la aerodinámica ha venido jugando un papel cada vez más importante en la puesta a punto y diseño de los autos de competencia y los de producción en serie. Con el aumento de las velocidades en rectas y curvas, se comprendió que era vital lograr una carga aerodinámica que, incidiendo hacia abajo o reduciendo la tendencia a despegar del suelo, se incremente la adherencia sobre el eje trasero o delantero.

Diversas variables influyen en el valor de la resistencia aerodinámica  $C_x$ , incluida la forma del vehículo, que para nuestro diseño será el cuerpo de un pequeño vehículo de carreras estilo fórmula. Los diseños estrechos y en forma de punta de avión reducen el efecto de vibración, ya que desvían las líneas de flujo del aire ayudando a mantener el coeficiente de resistencia bajo. También ejerce su influencia el diseño de alerones y/o spoilers (Fig. 2.4.3.1. a y b).

*Nota:* Por la complejidad de diseño, ensamble y número de elementos involucrados en cada uno de los Sistemas que componen el Vehículo FSAE, no se obtuvo un Análisis Aerodinámico de la Carrocería en este Trabajo de Tesis; pero es imprescindible y debe considerarse, efectuar un análisis mucho más exhaustivo de todo el vehículo ensamblado y llevar a cabo este estudio bajo estas consideraciones, y analizar y comparar el Comportamiento de las Líneas de Flujo de Aire que circulan sobre, alrededor y bajo el vehículo, a través de un



modelo a escala dentro de un túnel de viento, para observar el fenómeno de succión y adherencia del prototipo y, de acuerdo a los datos y resultados arrojados dentro de este análisis, definir si es factible su fabricación mediante programas de Dinámica de Fluidos CFD (Computer Fluids Dynamic). Al llevar a cabo la fabricación del Sistema de Carrocería como elemento final, se debe realizar nuevamente un análisis del prototipo ahora en escala real, midiendo y obteniendo los factores aerodinámicos involucrados para este diseño.



Fig. 2.4.3.1.a. Prototipo de Diseño Aerodinámico de la Carrocería de un Vehículo FSAE con ADMS.



Fig. 2.4.3.1.b. Diseños del FSAE de Universidades Participantes.



---

## 2.5. SISTEMA DE SUSPENSIÓN.

### 2.5.1. MISIÓN DE LA SUSPENSIÓN.

Un automóvil consta de un chasis o bastidor suspendido por un conjunto de elementos, estos son: resortes, muelles, amortiguadores y llantas neumáticas. Al grupo de estos elementos se le conoce como sistema de suspensión. La función principal de estos dispositivos es aislar al chasis de las irregularidades del camino.

El sistema de suspensión de un vehículo se encarga de hacer más cómoda la marcha a los pasajeros, evitando que las oscilaciones del terreno se transmitan a la carrocería. Además, contribuye a la estabilidad del vehículo, manteniendo en contacto las ruedas con el terreno, mejorando la adherencia y la respuesta de la dirección.<sup>[12]</sup>

Para cumplir estos objetivos, la suspensión deberá tener dos propiedades importantes: elasticidad, que evita que las desigualdades del terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos; y amortiguación, que impide un balanceo excesivo de la carrocería y mantiene los neumáticos en contacto con el terreno.

### 2.5.2. ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN.

En un sistema de suspensión convencional, la rueda está conectada al cuerpo o chasis, a través de un arreglo de enlaces que permiten un movimiento aproximadamente vertical al movimiento relativo de la rueda del mismo, controlado por resortes y elementos de amortiguación.

Los componentes principales de un sistema de suspensión son:<sup>[13]</sup>

1. Resortes.
2. Amortiguadores.
3. Muelles.
4. Neumáticos.

Los resortes son componentes muy importantes del sistema de suspensión, ya que proveen de comodidad la conducción. Los amortiguadores y muelles ayudan al control rápido de los resortes, permitiendo el movimiento uniforme de la suspensión, la cual es importante para mantener las ruedas firmemente en contacto con el suelo.



Todo sistema de suspensión debe disponer de un conjunto elástico, formado por ballestas, muelles helicoidales o resortes, barras de torsión. Además, dispone de otros elementos constructivos, como los brazos, rótulas; y elementos que mejoran el comportamiento de la suspensión, como barras estabilizadoras, barras transversales, etc.

Antes de pasar al estudio particular del sistema de suspensión del vehículo FSAE y determinar las propuestas de diseño del propio sistema (características del tipo de suspensión, configuración del arreglo elástico en su totalidad, etc.); debemos estudiar el movimiento oscilatorio que se presenta en un sistema de amortiguación, en particular el movimiento generado por un resorte y su constante elástica de rigidez.<sup>[14]</sup>

En particular, consideraremos tanto en un caso especial de una fuerza dada como en una función de posición, al resultado de fuerza resultante lineal de la acción de un resorte. Así, para el sistema masa-resorte, la ecuación diferencial de movimiento, es determinado por:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{K}{m}x = 0 \quad \dots\dots\dots (2.5.2.a.)$$

Donde:

*K* - Es la Constante Elástica de Rigidez del Resorte.

*x* - Es la distancia medida desde la posición estática de equilibrio de la masa.

Para obtener el valor de  $K = K_e$  (Constante Elástica Equivalente de Rigidez del Resorte), tenemos:

$$K_e = \frac{F}{\delta} \quad \dots\dots\dots (2.5.2.b.)$$

Donde:

*K<sub>e</sub>* - Es la Constante Elástica Equivalente de Rigidez del Resorte.

*δ* - Es la deflexión estática permisible (desplazamiento de la masa).

*F* - Es la Fuerza Elástica o Fuerza de Excitación que provoca el Movimiento.

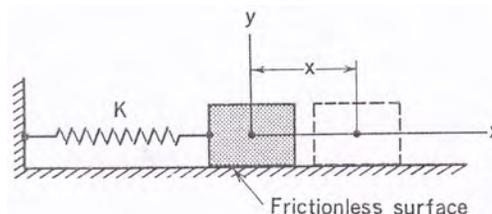


Fig. 2.5.2.a.1. Movimiento Oscilatorio de un Sistema Masa-Resorte.



Para resolver la ecuación diferencial, debemos encontrar una función de tiempo  $x(t)$ , la cual, cuando sea sustituida dentro de la ecuación, satisfaga la misma. Estas ecuaciones de movimiento elástico para la posición de un resorte, en las condiciones iniciales, son:

$$x = C_1 \cos \sqrt{\frac{K}{m}}t + C_2 \sin \sqrt{\frac{K}{m}}t \quad \dots\dots\dots (2.5.2.c.)$$

Donde:

$K$  - Es la Constante del Resorte.

$C_1$  y  $C_2$  - Son las Constante de Integración de un Resorte.

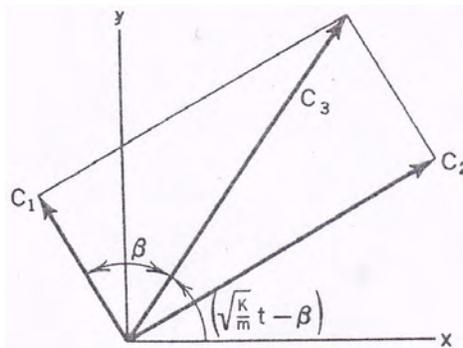


Fig. 2.5.2.a.2. Descomposición de Vectores de un Sistema Masa-Resorte.

Para poder conocer la velocidad a la que se desplaza el resorte, a través de la masa involucrada y su constante de rigidez, es necesario aplicar la derivada de la posición con respecto al tiempo, esto queda:

$$V = -C_1 \sqrt{\frac{K}{m}} \sin \sqrt{\frac{K}{m}}t + C_2 \sqrt{\frac{K}{m}} \cos \sqrt{\frac{K}{m}}t \quad \dots\dots\dots (2.5.2.d.)$$

Para las condiciones iniciales, cuando  $t = 0, x = x_0, V = V_0$ .

Sustituyendo estos valores en las dos ecuaciones anteriores, tenemos:

$$x_0 = C_1, \quad V_0 = C_2 \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \dots\dots\dots (2.5.2.e.)$$

Por lo tanto al evaluar  $x_0$  y  $V_0$ , el movimiento del resorte en la *Posición y Velocidad Iniciales*, estará dado por:



$$x = x_0 \cos \sqrt{\frac{K}{m}} t + \frac{V_0}{\sqrt{\frac{K}{m}}} \sin \sqrt{\frac{K}{m}} t \quad \dots \quad (2.5.2.f.)$$

$$V = -x_0 \sqrt{\frac{K}{m}} \sin \sqrt{\frac{K}{m}} t + V_0 \cos \sqrt{\frac{K}{m}} t \quad \dots \quad (2.5.2.g.)$$

### 2.5.3. SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL FÓRMULA SAE.

El Objetivo del Sistema de Suspensión del Vehículo FSAE, debe asegurar la operación y estabilidad del vehículo en todo momento, así como mantener las ruedas siempre en contacto con el terreno, aún en las curvas dentro del circuito. Éste, comprende el equipamiento de un sistema de suspensión del todo operacional, con elementos de absorción de impacto, frontal y trasero.

Si el vehículo no representa o no demuestra una óptima efectividad en dicho sistema o un inapropiado control y manejo en el circuito de autocross, podrá ser descalificado. Además, todos los puntos de montaje de la suspensión, deben ser visibles durante la evaluación de Inspección Técnica, ya sea por una revisión exterior o removiendo cualquier elemento que la cubra.

En las siguientes sub-secciones, definiremos las características, elementos y herramientas necesarias para abordar el estudio del sistema de suspensión del vehículo FSAE y concluir cuál es la mejor propuesta en la selección del todo el sistema en conjunto.

#### 2.5.3.1. EL CAMBER.

El Camber juega un papel muy importante en el control del manejo del vehículo durante una maniobra de giro o una vuelta durante la competencia. El *Camber* está definido como el ladeo o inclinación de las ruedas, alrededor del eje horizontal perpendicular a la dirección de rotación.<sup>[15]</sup>

Éste es ajustado por medio de dos métodos:

- *Camber Estático.*
- *Camber Dinámico.*



El **Camber Estático** se consigue a través de pequeños ajustes en el control de la longitud de los brazos; y el **Camber Dinámico** es determinado por la geometría de la suspensión, a través de la huella de una rueda reflectada verticalmente.

Ésta acción de inclinación, puede ser utilizada como una característica de importancia para el manejo del vehículo. Sin embargo, esto también puede ser una característica negativa, si ésta no puede estudiarse propiamente e implementarse (Fig. 2.5.3.1.a.).

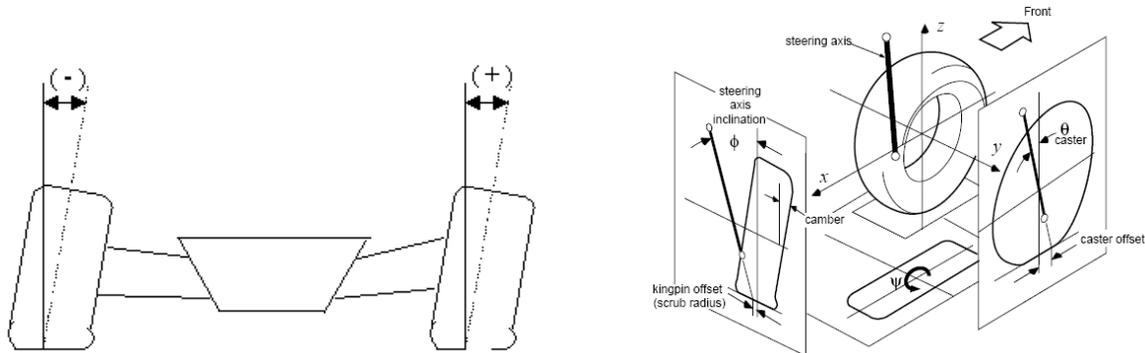


Fig. 2.5.3.1.a. Demostración de la Posición del Camber (Negativo y Positivo).

Una pequeña porción de inclinación en el Camber (negativo), es deseable en una vuelta, como es determinado a través de los datos de manufactura de un neumático. Los datos de manufactura del fabricante, pueden proveer información del diseño, ángulos, perfiles y huella del neumático para aumentar o disminuir dicha inclinación, por tanto, es indispensable elegir un neumático adecuado para lograr una configuración deseable de éste y del camber, permitiendo así, ganar los ángulos de inclinación dentro de un movimiento o giro del vehículo. No obstante, el diseño de la geometría de la suspensión, también debe ser semejante a la del camber cuando éste es cero o es conducido en línea recta. Si el camber existe, aún cuando el vehículo no está girando, el área de contacto del neumático es reducido y no logra una máxima tracción posible. Esto, también conlleva a obtener resultados irregulares en el uso de los neumáticos.

El aspecto deseable del camber, está en que puede ser usado para incrementar el área de contacto del neumático cuando el vehículo experimenta un cambio en su centro de giro. Para llevar a cabo este efecto, el camber debe colocarse en la posición positiva cuando el desplazamiento de la rueda es negativo (wheel droop); y negativo cuando el desplazamiento de la rueda es positivo (jounce).

Existen muchos tipos de suspensión en la actualidad con diferentes ventajas y desventajas. Para determinar cual sistema es el más apropiado o adecuado para el diseño del vehículo, se involucraron cierto número de factores, así como la elección de los neumáticos antes mencionada; entre los cuales seleccionamos una configuración de suspensión *SLA* (*short-long arm*), ya que es una configuración muy estable y utilizada por la mayoría de las universidades participantes. El primer factor, fue conocer donde se utiliza esta aplicación o sistema dentro de un vehículo de competencia Estilo Serie FSAE, donde el diseño de la configuración *SLA* es muy popular y muy conveniente y satisfactorio en buenas condiciones de la pista.



Después de revisar y comparar el análisis cualitativo en las características del camber de la suspensión, la selección de nuestro sistema se reduce a tres posibilidades: el *Desplazamiento del Neumático*, el *Movimiento del Camber* y el *Centro de Giro del Vehículo (Roll Centre)*. La siguiente tabla, ilustra las siete configuraciones posibles en la geometría del sistema de suspensión SLA (Short-Long Arm) seleccionada (Tabla. 2.5.3.1.b.).

Configuración de la Suspensión	Desplazamiento del Neumático	Movimiento del Camber	Centro de Giro (Roll Centre)
<p>Chasis</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	Ninguno	<p>Negativo</p> <p>Positivo</p>
<p>Chasis</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	Siempre Negativo
<p>Chasis</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	<p>↓</p> <p>↑</p>	Siempre Positivo
<p>Chasis</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	<p>↓</p> <p>↑</p>	Siempre Positivo
<p>Chasis</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	<p>↓</p> <p>↑</p>	Positivo en la Mayoría del Desplazamiento
<p>Chasis</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	Siempre Negativo
<p>Chasis</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	<p>↑</p> <p>↓</p>	Negativo en la Mayoría del Desplazamiento

Tabla 2.5.3.1.b. Configuraciones en la Geometría de la Suspensión de un FSAE para un Sistema de Suspensión SLA.



Con el fin de reducir y restringir nuestra selección, probamos los desplazamientos del neumático contra el Camber y el Centro de Giro del vehículo (Roll Centre). Decidimos que estas dos características del diseño del sistema de suspensión, son los factores más importantes en el manejo del vehículo, ya que uno, nos permite generar un ángulo de inclinación máximo y mínimo en la geometría de la suspensión, manteniendo las ruedas siempre en contacto con el suelo (*Camber*) y; el otro, permite ubicar el centro de gravedad del vehículo y diseñar los diferentes sistemas que integran al mismo (*Roll Centre*), evitando así, sobre-virajes y sub-virajes en el vehículo y manteniendo siempre las ruedas en contacto con el suelo.

*Después de revisar y comparar nuestro análisis, el sistema se reduce a tres posibilidades: el Desplazamiento del Neumático, el Movimiento del Camber y el Centro de Giro del Vehículo (Roll Centre).*

Una de las partes más difíciles en el diseño del sistema de suspensión, es la decisión en la selección de las diferentes configuraciones antes descritas, ya que actúan de forma independiente en cada rueda y además se diseñan de forma diferente para la parte frontal y trasera respectivamente; así también, la decisión en la selección de los neumáticos es importante, ya que son la clave para aumentar o disminuir el centro de giro, mantener un perfil bajo en el vehículo, cumplir con una mayor área de contacto y adherencia con el terreno, entre otras. No hay una suspensión óptima para todas las condiciones, por eso, para cada mejora hay un sacrificio (rediseño y costos).

La clave está en decidir, que es más importante para nuestra aplicación en particular. En nuestro caso, tuvimos que considerar también las condiciones climáticas y optar por unos neumáticos que cumplan al menos con dos de los requerimientos, que son: llanta para pavimento seco y para mojado (esto se verá con más detalle en la parte de Neumáticos).

## 2.5.3.2. PARÁMETROS EN LA CINEMÁTICA DE LA SUSPENSIÓN.

### 2.5.3.2.1. CENTRO INSTANTÁNEO.

El Centro Instantáneo (IC) de una Suspensión, es el punto a través del cual, una rueda gira individualmente. Éste, es también conocido como “swing centre” (centro de oscilación). Además, es también el punto a través del cual, las fuerzas respectivas de cada rueda, actúan sobre los resortes. El centro instantáneo de una suspensión independiente, dispuesta de una barra de cuatro enlaces, es localizado en la intersección de la extensión, donde se une la parte más baja y más alta del Centro de Giro del Vehículo.<sup>[15]</sup>

*Nota:* Cuando se analizan los parámetros en la cinemática de la suspensión, ambos, tanto la suspensión izquierda como la derecha, deben analizarse en conjunto.



### 2.5.3.2.2. CENTRO DE GIRO (ROLL CENTRE).

Es un punto imaginario marcado en el plano vertical-transversal, a través de cualquier par de centros de la rueda, en el cual las fuerzas laterales podrán ser aplicadas a los resortes, sin producir ningún giro en la suspensión.

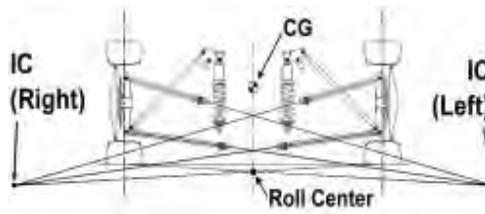


Fig. 2.5.3.2.2. Ubicación del Centro Instantáneo y Centro de Giro del FSAE.

En el Diseño del Sistema de Suspensión Delantera y Trasera del Vehículo FSAE, debe realizarse un análisis completo de todo el vehículo ensamblado, estudiando y determinando el Comportamiento Dinámico del Sistema de forma individual (suspensión delantera o trasera derecha y suspensión delantera o trasera izquierda), por pares (suspensión delantera o trasera derecha-izquierda) y en conjunto (todo el sistema) y, estudiar si es factible o no, el funcionamiento y recorrido de la suspensión, así como determinar el ángulo de inclinación teórico e interpretar si los resultados obtenidos, cumplen con el factor de diseño. Para poder realizar el movimiento mecánico y generar un análisis en la cinemática del sistema de suspensión, es necesario emplear programas de simulación y herramientas tecnológicas como Catia, ADAMS, Abaqus, entre otros, etc.

### 2.5.3.2.3. UBICACIÓN DEL CENTRO DE GIRO.

El Centro de Giro, está ubicado en la intersección de las líneas formadas por el contacto de las huellas del neumático y su respectivo centro instantáneo. En la Fig. 2.5.3.2.3., el contacto de las huellas del neumático son asumidas teóricamente en la intersección de la línea central del neumático con la superficie del terreno, mientras que en la realidad, esos dos puntos no podrán coincidir.

*Nota:* La ubicación del centro de giro, es usualmente diferente para la suspensión delantera y trasera, es decir, debe obtenerse de manera independiente para cada sistema, ya que la distancia mínima de la huella de las llantas delanteras debe ser de no menos del 75% de la huella de las llantas traseras (medido del centro de los neumáticos).

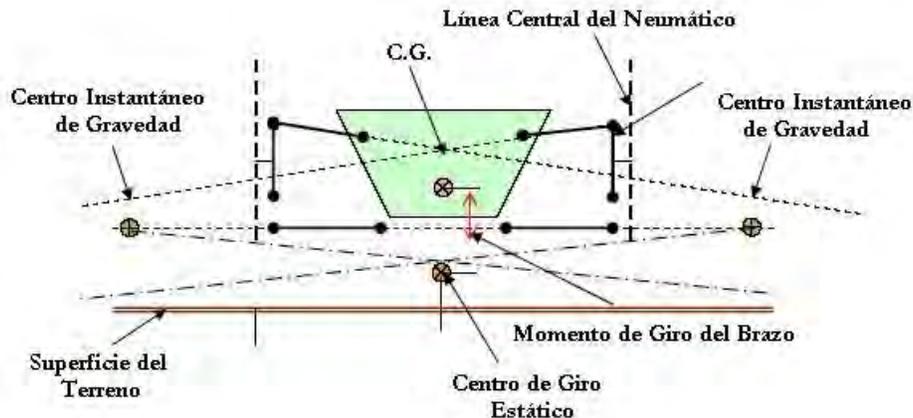


Fig. 2.5.3.2.3. Representación Esquemática de la Geometría de la Suspensión del FSAE.

#### 2.5.4. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN FRONTAL DEL FSAE.

Para la selección de la configuración óptima de sistema de suspensión frontal, es importante recordar, que estas ruedas reciben el nombre de **Directrices**, ya que guían la conducción del vehículo y son las que se atrasan o adelantan más en una vuelta a su respectiva interior y viceversa.

Como se vio anteriormente, una pequeña porción de inclinación en el Camber (negativo), es deseable en una vuelta, ya que permite aumentar o disminuir dicha inclinación y, por tanto, lograr una configuración deseable entre los neumáticos, los amortiguadores, resortes y del camber, permitiendo así, ganar los ángulos de inclinación dentro de un movimiento o giro del vehículo. Sin embargo, el diseño de la geometría de la suspensión, también debe ser semejante a la del Camber cuando éste es cero o es conducido en línea recta, es por eso, que cuando se tiene una mayor área de contacto y adherencia entre los neumáticos delanteros y traseros, se evita desplazar o inclinar demasiado el centro de giro del vehículo.

El aspecto deseable del sistema de suspensión delantero, está en que puede ser usado para incrementar el área de contacto de los neumáticos cuando el vehículo experimenta un cambio en su centro de giro, evitando desplazar demasiado el ángulo de giro del Camber y su centro de Giro (Roll Centre). Para llevar a cabo este efecto, el **Camber debe colocarse en la Posición Positiva** cuando el desplazamiento de la rueda es negativo. Además se debe tener una adecuada configuración de los amortiguadores para proporcionar estabilidad al vehículo y absorber de manera efectiva el mayor número de oscilaciones que presentan las irregularidades e imperfecciones del terreno, así como las vibraciones que recibe por el motor a través de la estructura, entre otros.



Las configuraciones geométricas que más se adecuan a nuestra necesidad y seleccionadas en el diseño para este tipo de suspensión, son las mostradas abajo en la **Posición Positiva del Camber** (Fig. 2.5.4.a. y 2.5.4.b.).

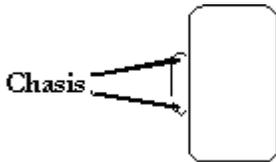


Fig. 2.5.4.a. Siempre Positivo (Óptimo).

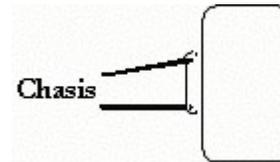


Fig. 2.5.4.b. Positivo en la Mayoría del Desplazamiento (Muy Óptimo).

### 2.5.5. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN TRASERO DEL FSAE.

Para la selección de la configuración óptima de sistema de suspensión trasero, es importante recordar, que estas ruedas reciben el nombre de **Motrices**, ya que proporcionan la tracción del vehículo y soportan en relación, el 70[%] del peso total del vehículo y los componentes del sistema de tracción, tren motriz y motor.

Para poder mantener los ángulos de inclinación adecuados dentro de un movimiento o giro del vehículo, es necesario ganar más desplazamiento y cambiar en forma brusca el Centro de Giro del vehículo, y por consecuencia el Ángulo del Camber.

Si el Camber existe, aún cuando el vehículo no está girando, el área de contacto de los neumáticos es reducido y no logra una máxima tracción posible; es por esa razón que deseamos mantener en la mayoría de las circunstancias, el área de contacto de los neumáticos con la superficie del terreno, para así, generar siempre la mayor potencia tractiva de los mismos y ganar mayor desplazamiento del vehículo en menor tiempo, así como una mayor respuesta a la marcha y en conjunto a los sistemas que comprende el tren motriz.

El aspecto deseable del Camber para el diseño del sistema de suspensión trasero más adecuado, está en que debe ser usado para incrementar la máxima tracción generada en las ruedas cuando el vehículo experimenta un cambio en su centro de giro. Para llevar a cabo este efecto, el **Camber debe colocarse en la Posición Negativa** cuando el desplazamiento de la rueda es positivo, que es el aspecto que se desea para favorecer el aumento o disminución del centro de giro del vehículo y manteniendo estable el Centro de Gravedad, evitando así, el sub-viraje del vehículo generado por la potencia del motor y los sistemas de tracción.



Las configuraciones geométricas que más se adecuan a nuestra necesidad y seleccionadas en el diseño para este tipo de suspensión, son las mostradas abajo en la **Posición Negativa del Camber** (Fig. 2.5.5.a. y 2.5.5.b.).

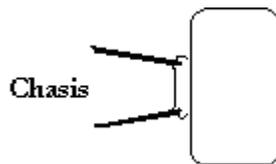


Fig. 2.5.5.a. Siempre Negativo (Óptimo).

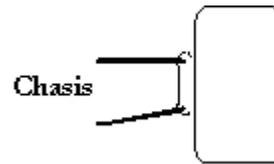


Fig. 2.5.5.b. Siempre Negativo (Óptimo).

## 2.5.6. SELECCIÓN DE LOS AMORTIGUADORES DEL FÓRMULA SAE.

La función de los amortiguadores, es controlar los movimientos oscilatorios de la suspensión (masa no suspendida) y del chasis (masa suspendida) originados por la compresión de los muelles o resortes al atravesar obstáculos e imperfecciones del pavimento o del camino de tierra en el caso de los rallies.<sup>[13]</sup>

Sin amortiguadores, la carrocería y la suspensión oscilarían con una frecuencia correspondiente a la natural de la masa no suspendida. Cuando los muelles se comprimen, almacenan energía que liberan después extendiéndose con fuerza y yendo más allá de la que sería su altura normal bajo la carga del peso del vehículo.

Mientras los muelles controlan el equilibrio y el reparto de la transferencia de pesos entre los ejes del vehículo, los amortiguadores controlan, por un lado, los movimientos del peso no suspendido del vehículo y, por otro, los movimientos transitorios y del chasis, es decir, su velocidad de respuesta a los cambios de velocidad y actitud.

El amortiguador influye en gran medida, cuando el piloto quiere apuntar o insertar el vehículo hacia dentro de las curvas o cuando quiere aplicar tracción. En términos prácticos, la resistencia de los amortiguadores se suma a la de los muelles en los primeros instantes del movimiento de la suspensión en un cambio de dirección. Esto es así porque el amortiguador influye sobre la velocidad con la que se produce la transferencia de peso, aunque no en su valor y reparto absoluto, como lo hacen los muelles y las barras estabilizadoras.

Existen tres configuraciones en la resistencia que puede tener un amortiguador, las cuales pueden ser:

- *Blando (soft): Para una amortiguación blanda.*



- *Normal (normal): Para un excelente confort.*
- *Duro (firm): Para una conducción deportiva.*

*Nota:* Para el caso del vehículo FSAE, es muy importante controlar que las ruedas mantengan el máximo contacto con el suelo para obtener la mayor tracción posible.

Al entrar en contacto la rueda con una saliente de la pista o del camino, lo que se pretende, es que no pierda contacto con el suelo. Si el amortiguador resulta muy duro a la compresión, el golpe contra el obstáculo se transmitirá al chasis, levantándolo y produciendo una transferencia de pesos no deseada. También se producirá una pérdida de contacto del neumático contra el suelo.

Por el contrario, si el amortiguador resulta blando a la compresión, una vez que choca contra una saliente, la rueda seguirá subiendo, incontrolada, perdiendo también contacto con el suelo. La resistencia del amortiguador a la extensión controla la rapidez con la que el muelle volverá a su posición original sin oscilar demasiado y también controla la forma en que el neumático seguirá el perfil del camino al pasar por un obstáculo. La resistencia del amortiguador a la compresión controla la rapidez y la eficacia con la que el vehículo apunta hacia el vértice de las curvas cuando se inicia el viraje.

Con un amortiguador demasiado blando a la compresión, el vehículo tardará demasiado en apuntar y demorará en insertarse en una curva. El frente del vehículo se hundirá mucho al principio del frenado. El vehículo balanceará con mucha rapidez y tenderá a pivotar sobre la rueda externa en la entrada a los virajes.

En los vehículos de serie, las fuerzas de resistencia a la compresión de los amortiguadores suelen ser hasta tres veces menores que aquellos que resisten la extensión o expansión, ya que de esa manera se privilegia el confort de marcha. Los amortiguadores de carrera, con menores recorridos de suspensión y, eventualmente con mayor necesidad de tracción, se configuran con otras proporciones. En este tipo de elementos la resistencia total a la compresión suele ser de 1,5 a 2 veces menor que la de extensión.

La resistencia a la extensión, controla la velocidad con la que el neumático retoma contacto con el pavimento después de ser desplazado. Si la resistencia es excesiva, tardará mucho en volver a tomar contacto con el firme y se perderá adherencia. Es posible que las ruedas internas al viraje queden momentáneamente en el aire (sobre todo la trasera).

En curvas de larga duración, el vehículo iría perdiendo altura de rodadura (distancia al suelo) por la resistencia del amortiguador a extenderse. Por el contrario, con una fuerza excesivamente blanda a la extensión, tampoco se podrá aplicar potencia a la salida de las curvas lentas.

Los parámetros que debemos conocer e involucrar para obtener la selección del amortiguador y para hacer la decisión de diseño de nuestro vehículo, son:



1. Longitud del amortiguador cuando está totalmente comprimido.
2. Longitud del amortiguador cuando está totalmente extendido, teniendo en cuenta que debe ser menor que la altura libre del muelle o resorte que se utilice.
3. Tensión del muelle, peso suspendido en la rueda y peso no suspendido.
4. Diámetro máximo del tubo.
5. Tipo de sujeción y medidas del mismo al chasis y a la suspensión.

En base en estas variables, nos enfocaremos en la selección de los amortiguadores que existen comercialmente y que serían los más adecuados y más óptimos para el diseño de la suspensión delantera y trasera del vehículo FSAE. Además, dentro de la competencia, está permitido el uso de amortiguadores especializados dentro del sistema de amortiguación del vehículo. Este tipo de amortiguadores se les conoce como Dampers, es decir, son amortiguadores regulados y calibrados a determinada presión de trabajo por medio de un fluido dentro de una cámara separada y a un lado contiguo del amortiguador (Fig. 2.5.6.a. y Fig. 2.5.6.b.).

Esto, con el fin de mantener siempre una presión constante de trabajo al amortiguador y forzar al mismo, a trabajar de acuerdo al diseño y a las características físicas del muelle y a la frecuencia que se establezca para su empleo a pesar de que llegue a comprimirse más de lo normal. Los amortiguadores deberán colocarse íntegramente a la estructura, fijados a través de los Rockers y de los bujes.

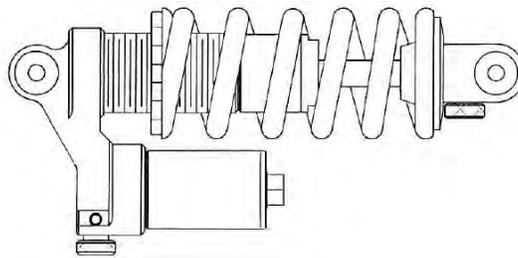


Fig. 2.5.6.a. Amortiguador tipo Damper Utilizado para el Vehículo FSAE.

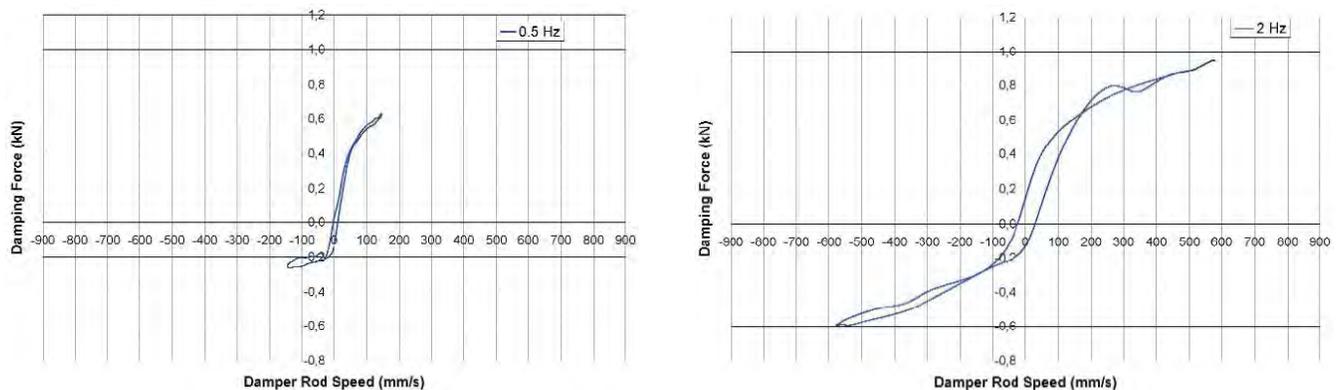


Fig. 2.5.6.b. Curvas Características de un Amortiguador tipo Damper trabajando a diferente frecuencia.



### 2.5.6.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE AMORTIGUACIÓN DEL FSAE.

El **Sistema de Amortiguación del Vehículo FSAE**, está integrado por diversos componentes, los cuales incluyen: **Amortiguadores, Muelles o Resortes, Rockers (Balancines) y Push Rods (Rótulas de Empuje)**. (Fig. 2.5.6.1.a.).

Las **Rótulas de Empuje (Push Rods)**, deberán estar conectadas dentro de los brazos de la suspensión, ya sea de la parte superior o inferior del sistema, de manera horizontal, vertical o inclinada y dirigidas hacia la parte baja o superior de la estructura (depende el caso como se diseñen). El diseño y colocación de estas rótulas, está en función de la posición de trabajo que desee utilizarse para el sistema y de la complejidad de diseño del mismo.

Los **Rockers (Balancines)**, son los elementos que acoplan y unen la Estructura con las Rótulas de Empuje y los Amortiguadores. Este dispositivo, a través de su propio giro, tiene la función de transmitir la energía de las rótulas de empuje hacia los amortiguadores, a causa del movimiento del vehículo. Este elemento de la suspensión, igualmente deberá diseñarse y ubicarse dentro de cualquier posición deseable, ya sea en la parte baja o superior de la estructura. Esto depende del diseño que se defina para al trabajo óptimo del propio sistema y de la complejidad con que se realice el ensamble del mismo.

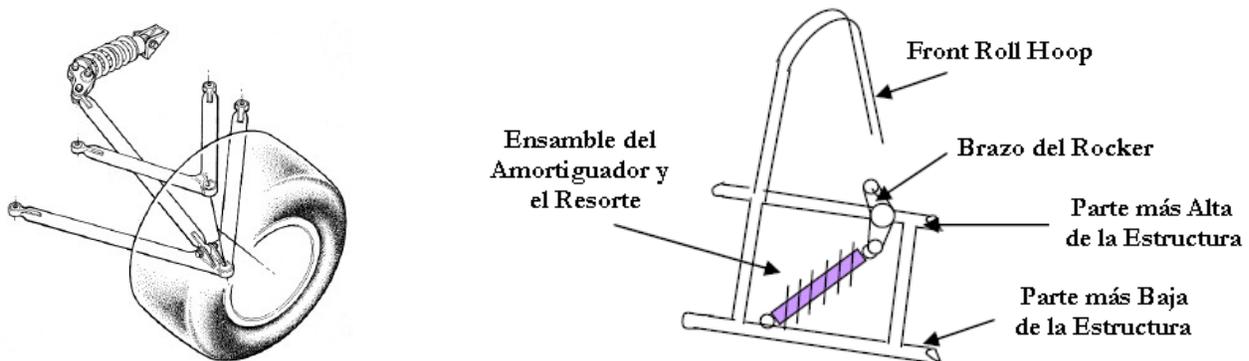


Fig. 2.5.6.1.a. Configuración del Sistema de Amortiguación Frontal y Trasero del FSAE.

Los Amortiguadores deberán colocarse íntegramente a la Estructura, fijados a través de los Brazos de Suspensión, los Rockers (Balancines), las Rótulas de Empuje (Push-Pull Rod) y de las propias Rótulas y Bujes del sistema de Suspensión. Esta selección dependerá de la configuración que se pretenda y defina instalar (muelle-amortiguador) al momento de la toma de decisión en la fase de diseño de este sistema. A continuación se muestra la instalación de un sistema muelle-amortiguador para un vehículo de carreras (Fig. 2.5.6.1.b.).

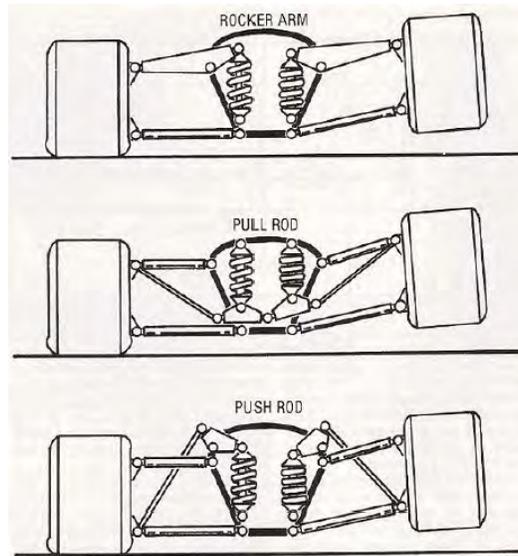


Fig. 2.5.6.1.b. Configuración del Sistema de Amortiguación Frontal y Trasero del FSAE.

## 2.6. SISTEMA DE FRENOS.

Antes de analizar la selección del sistema de frenado del vehículo FSAE, es necesario resumir los conceptos básicos mediante los cuales funcionan los frenos de un vehículo.

Hemos conocido y estudiado en las aulas, la *Ley de Conservación de la Energía*, la cual dice que “*la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma*”. La energía cinética y calorífica involucradas en este apartado, son sólo 2 de los diferentes tipos de energía que se requieren para el estudio del sistema de frenos del FSAE. La primera es aquella energía que tienen los cuerpos al estar en movimiento y la segunda es la energía que toman o desprenden los cuerpos en forma de calor. Cuando un vehículo se encuentra en movimiento, tiene una cierta energía cinética y si queremos detenerlo, tenemos que transformar esa energía en alguna de otro tipo de energía que no involucre el movimiento del vehículo, como la energía calorífica. Esto se logra mediante la fricción, que es la fuerza que se opone a algún movimiento.

Al aplicar los frenos de un vehículo, provocamos una fricción en el disco o tambor (según el tipo de freno) que genera calor. Es decir, transformamos la energía cinética (velocidad) en energía calorífica (calor) y entre más calor pueda desprender el sistema de frenos más velocidad va a disminuir el vehículo. Este principio básico, nos permite determinar que el sistema de frenos más efectivo va a ser aquel que pueda disipar más calor. Entre más velocidad y peso tenga un vehículo, más energía cinética va a poseer y más difícil resulta detenerlo, lo cual se debe compensar con una mayor presión y una mayor área de frenado para generar más fricción y disipar más calor.<sup>[16]</sup>



El sistema de frenos, lo conforman las piezas y subconjuntos que se utilizan para la disminución gradual de la velocidad del vehículo cuando éste se mueve, así como para mantenerlo inmóvil cuando su velocidad sea igual a cero.

### 2.6.1. CINEMÁTICA DEL SISTEMA DE FRENADO DEL VEHÍCULO FSAE.

En general, se puede decir que todas las fuerzas (resistencias) que actúan sobre el automóvil durante su movimiento, son fuerzas de frenado. La intensidad de estas fuerzas sobre el valor de la deceleración de la velocidad del automóvil, es diferente en cada caso y generalmente se desprecia. Para determinar la efectividad del funcionamiento del sistema de frenos, en el caso más representativo lo constituye el frenado del vehículo a una velocidad determinada en una pista horizontal de buena adherencia, es decir, de alto coeficiente de adherencia.

Para la evaluación del sistema de frenado, desde el punto de vista de la seguridad del movimiento, lo más importante es el tramo de camino necesario para realizar el frenado, es decir, la distancia recorrida por el automóvil desde el momento que se oprime el pedal del freno por el piloto, hasta el punto en que el vehículo se encuentra totalmente detenido. Es muy importante también, considerar el tramo de camino que el vehículo recorrió, desde el instante en que el piloto observó el obstáculo, hasta el momento en que oprimió el pedal. Esta distancia depende de diferentes factores, entre ellos, de las características fisiológicas de conductor, es decir, de su velocidad de reacción (reflejos).<sup>[17]</sup>

Un factor que se aplica al considerar la *evaluación de la efectividad de frenado*, es la *deceleración promedio de frenado*, esto es:

$$(a_d)_{prom} = \frac{V_0^2}{2S} \dots\dots\dots (2.6.1.a.)$$

Donde:

$V_0$  Velocidad Inicial en el Instante de Frenado.

$S$  Distancia de Frenado.

Para calcular la distancia de frenado, se considera la deceleración producida por el sistema de frenos, de valor constante que es igual a  $(a_d)$  [m/s<sup>2</sup>] y  $V_0$  [m/s] que es la velocidad que lleva el vehículo en el instante en que comienza a detenerse. La velocidad  $V$  [m/s] al cabo de  $t$  segundos, es:

$$V = V_0 - a_d \times t \dots\dots\dots (2.6.1.b.)$$



Igualando a Cero se reduce el tiempo total de frenado, es decir, hasta la inmovilización del vehículo.

$$0 = V_0 - a_d \times t \quad \dots\dots\dots (2.6.1.c.)$$

Se tiene entonces que:

$$t = \frac{V_0}{a_d} \quad \dots\dots\dots (2.6.1.d.)$$

Por lo que tenemos finalmente, el **Recorrido o la Distancia Total de Frenado del Vehículo:**

$$S = \frac{V_0^2}{2a_d} \quad \dots\dots\dots (2.6.1.e.)$$

## 2.6.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS DEL VEHÍCULO FSAE.

La mejor configuración y más óptima selección del sistema de frenado del vehículo FSAE, es determinado de acuerdo a su seguridad y por los resultados que han mostrado los eficientes sistemas, al ser probados y utilizados en los vehículos convencionales, además de que el sistema de frenado debe asegurar la detención efectiva del vehículo, al menos aplicando a dos ruedas del mismo, esto establecido por el reglamento vigente.

Se prefiere los frenos de disco, porque utilizan los principios básicos de frenado (fricción y calor) que cualquier otro sistema equivalente, por lo que, tienen la función de disminuir gradualmente la velocidad del vehículo cuando éste se mueve. Los frenos de disco constan de un plato expuesto al aire que es frenado por una mordaza generando fricción y calor. Este sistema de frenos es muy efectivo, ya que el calor se disipa fácilmente al tener todos sus elementos expuestos externamente al aire, evitando así, la acumulación de calor.

La siguiente gráfica, muestra el factor de frenado, definido como la distancia de arrastre del tambor o del disco, en la aplicación de la fuerza de una mordaza o rotor. Éste, es un indicador de la capacidad del freno a producir un par para diferentes coeficientes de fricción, en el tipo de material empleado para las pastillas de freno (revestimientos o cubiertas). Se observa la comparación del diseño de un freno de tambor Vs. uno de disco, revelando que el freno duo-servo tiene el factor de frenado más alto para cualquier coeficiente de fricción dado, es decir, ésta característica es deseable en el diseño de frenos de estacionamiento, pero puede proveer inseguridad cuando es usado como un freno trasero. En cambio, la línea recta del factor de frenado para un freno de disco, muestra la relación lineal del coeficiente de fricción, la cual representa un mejor potencial de balance en el frenado.<sup>[18]</sup>

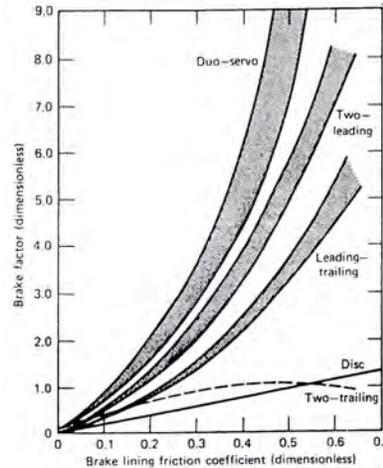


Fig. 2.6.2. Factor de Frenado como una función del Revestimiento del Coeficiente de Fricción.

Es por esta razón que se puede concluir, que la selección de los frenos de disco es la mejor. Además, esta tecnología fue desarrollada en autos de carreras para permitirles a los pilotos frenar hasta el último momento en las curvas, aprovechando las menores distancias de frenado. Con el tiempo, esta tecnología llegó a los vehículos convencionales y actualmente es muy común encontrar frenos de disco en las cuatro ruedas en autos sin intenciones y fines deportivos.

## 2.7. SISTEMA DE DIRECCIÓN.

El giro de las ruedas en un vehículo, se efectúa a través del sistema de dirección. Éste, es un mecanismo plano de palancas, el cual se pone en movimiento a través del volante de dirección.<sup>[2]</sup>

El conjunto de la dirección, lo componen básicamente los siguientes subconjuntos y piezas:

- Volante de Dirección.
- Columna de Dirección.
- Caja de Dirección.
- Bielas y Elementos Mecánicos de Acoplamiento.

El sistema de dirección, comprende todos los elementos que permiten transmitir el movimiento desde el volante hasta las ruedas. En algunos vehículos de turismo, por la configuración del sistema de dirección, se requiere la instalación de un amortiguador para absorber ciertas irregularidades del terreno, sin que sea detectada por el volante de mando.

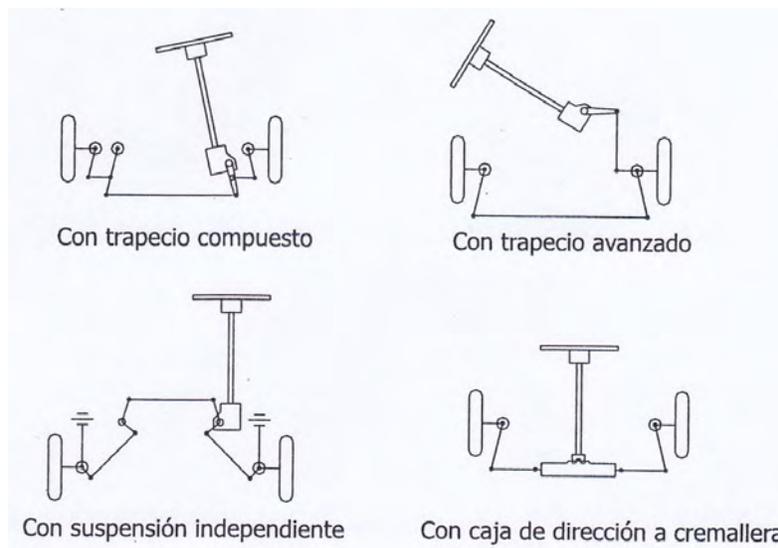


Fig. 2.7.a. Representación Esquemática de Soluciones en la Configuración del Conjunto de Dirección.

En la mayoría de los sistemas de dirección, se puede calcular la relación entre el ángulo de giro de las ruedas y el ángulo de giro del volante de la dirección, esto se verá en la siguiente sección.

### 2.7.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL VEHÍCULO FSAE.

El Diseño del Sistema de Dirección del Vehículo FSAE, debe ser compacto, ligero y con un mínimo de partes o elementos, fácil de ajustar, de costo promedio y mantenimiento económico.

Para el Análisis del Sistema de Dirección, utilizaremos la Condición de Ackerman, ya que es un sistema de configuración muy versátil y fácil de emplear, para determinar los ángulos de giro de un vehículo. Este es el método más utilizado por muchas universidades participante, además, de ser la mejor opción en los resultados teóricos del Cálculo de la Distancia Mínima de Giro del vehículo FSAE dentro de la competencia.

Con la Condición de Ackerman, podemos determinar las relaciones entre los radios de giro interior y exterior del vehículo FSAE, los cuales, aunque son muy simples en construcción, nos generan una solución total al problema de igualdad entre los ángulos de giro teórico y real.<sup>[19]</sup>

Ecuación General:

$$\frac{1}{\tan \theta_E} - \frac{1}{\tan \theta_I} = \frac{B}{L} \dots\dots\dots (2.7.1.a.)$$



Donde:

$\theta_E$  Ángulo de Giro Exterior.

$\theta_I$  Ángulo de Giro Interior.

$B$  Distancia entre Ejes.

$L$  Distancia del Brazo de Dirección del Vehículo (Via Delantera).

$b$  Distancia del Eje Trasero hacia el Centro de Gravedad del Vehículo.

El objetivo de esta ecuación, permite que en la construcción del sistema de dirección, se obtengan los ángulos reales  $\theta_{Er}$  y  $\theta_{Ir}$ , los cuales tengan una diferencia mínima con respecto a los teóricos  $\theta_{Et}$  y  $\theta_{It}$ .

Como observamos en la sección anterior de la Fig. 2.7.a., en la representación esquemática de diversas configuraciones y conjuntos de dirección, la condición del sistema de dirección de Ackerman, es un mecanismo plano de palancas que forman una figura de 4 lados (tetraedro) con un eje de simetría. Para determinar todos los parámetros del mecanismo, sólo se necesitan conocer o definir 3 valores o parámetros cualesquiera de su geometría para obtener la incógnita restante (Fig. 2.7.1.b.).

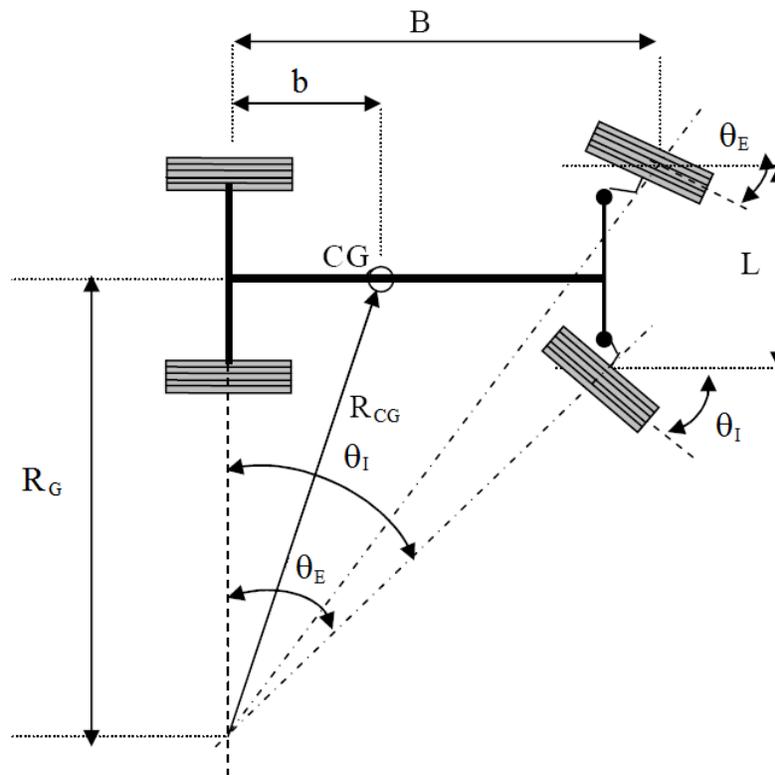


Fig. 2.7.1.b. Representación Esquemática del Sistema de Dirección de Ackerman.



El valor de la vía delantera del automóvil, es un parámetro general del mismo y siempre está definido antes de proyectar el sistema de dirección. Por lo tanto, al momento de diseñar el sistema de dirección del vehículo FSAE, únicamente se necesitan dos parámetros:

- *La Distancia entre Ejes B*
- *El Ángulo Interior del Brazo de Giro  $\theta_i$  (entre  $25^\circ$  y  $35^\circ$  como máximo)*

La condición de Ackerman, garantiza que el centro de giro de todas las ruedas de un vehículo sea el mismo, es decir, que durante el giro, exista un deslizamiento mínimo entre el neumático y la calzada (huella).

Esto obliga a que todas las ruedas se orienten, de tal forma que su movimiento sea de rodadura sin deslizamiento transversal, lo cual, a su vez, impone que todas se desplacen siguiendo trayectorias con centro de rotación.

El Sistema de Dirección seleccionado, deberá constar de una caja flotante o aérea de dirección, tipo piñón y cremallera, unida con una junta universal del eje de la caja de dirección al volante para el giro y movimiento de la misma y el giro de los neumáticos; deberá estar unida por dos brazos de dirección en cada lado, unido a través de rótulas esféricas hacia las mazas de dirección colocadas sobre las mazas de la suspensión (Fig. 2.7.1.c.).

La geometría utilizada para este sistema y tipo de vehículo fue el adoptado por el Ángulo de Ackerman, que provee de un balance adecuado al giro del vehículo, además de que permite montar y desmontar correcta, eficaz y rápidamente las mazas de las ruedas.

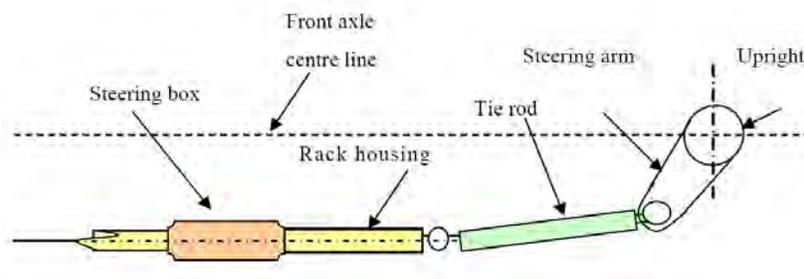


Fig. 2.7.1.c. Representación Esquemática del Sistema de Dirección del FSAE.



### 2.7.2. RINES Y NEUMÁTICOS.

La Selección de los Neumáticos para el Vehículo FSAE, debe comprender al menos dos de tres características del tipo de terreno establecida por el reglamento de la SAE. Estas características son: **Neumáticos para Pavimento Seco**, es decir, para las condiciones óptimas de manejo, maniobrabilidad y pruebas dentro de la competencia; **Neumáticos para Pavimento Húmedo**, en el caso de que haya zonas de la pista con charcos o el pavimento esté húmedo en su totalidad y; en una circunstancia, en la que el clima se presente brumoso y haya lluvia, se requieren **Neumáticos para Terreno Mojado**.

Los neumáticos comerciales que existen para los vehículos de competencia, son neumáticos mucho más delicados y más revolucionados en cuanto a tecnología, es por ello, que existen diferentes marcas, configuraciones, modelos, tipos, pesos, dimensiones, entre otras características de las que se hará la selección para el diseño del vehículo.<sup>[20]</sup>

Para la elección de los neumáticos y rines, deben considerarse diversas variables en la selección de los mismos, como son: peso del neumático, diámetro exterior, diámetro interior, ancho de la sección interior del rin, ancho total del neumático, ancho de la huella, presión que maneja, material del que está constituido, dureza y/o suavidad, uso (tipo de terreno a emplear), temperatura óptima de trabajo y el costo neto.

De acuerdo a la configuración de la suspensión y a la altura mínima establecida que debe cumplir el vehículo FSAE en base al reglamento vigente, los rines seleccionados deberán ser de 15 [inches] de diámetro exterior, con 13 [inches] de diámetro interior y el ancho de la huella de las ruedas frontales y traseras será de 6.5 [inches] y 8.0 [inches] respectivamente. El material que se pretende utilizar es aluminio, ya que reduce el peso de los mismos y en general el peso total del vehículo.

En la Fig. 2.7.2.a., se muestran las características técnicas de trabajo de la huella o cara de un neumático para competencia FSAE, así como en la Fig. 2.7.2.b., las gráficas y tablas de las características técnicas que se requieren para su utilización y óptimo desempeño bajo condiciones de carga.<sup>[21 y Apéndice: D]</sup>

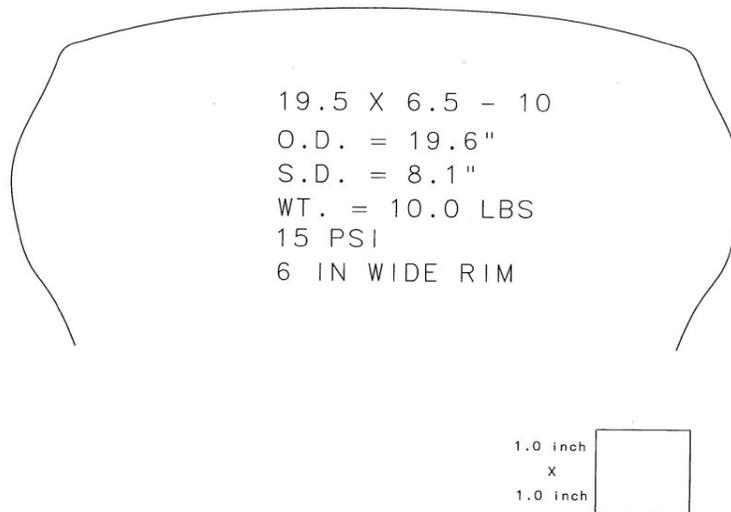


Fig. 2.7.2.a. Especificaciones Técnicas de Neumáticos para Competencia FSAE.

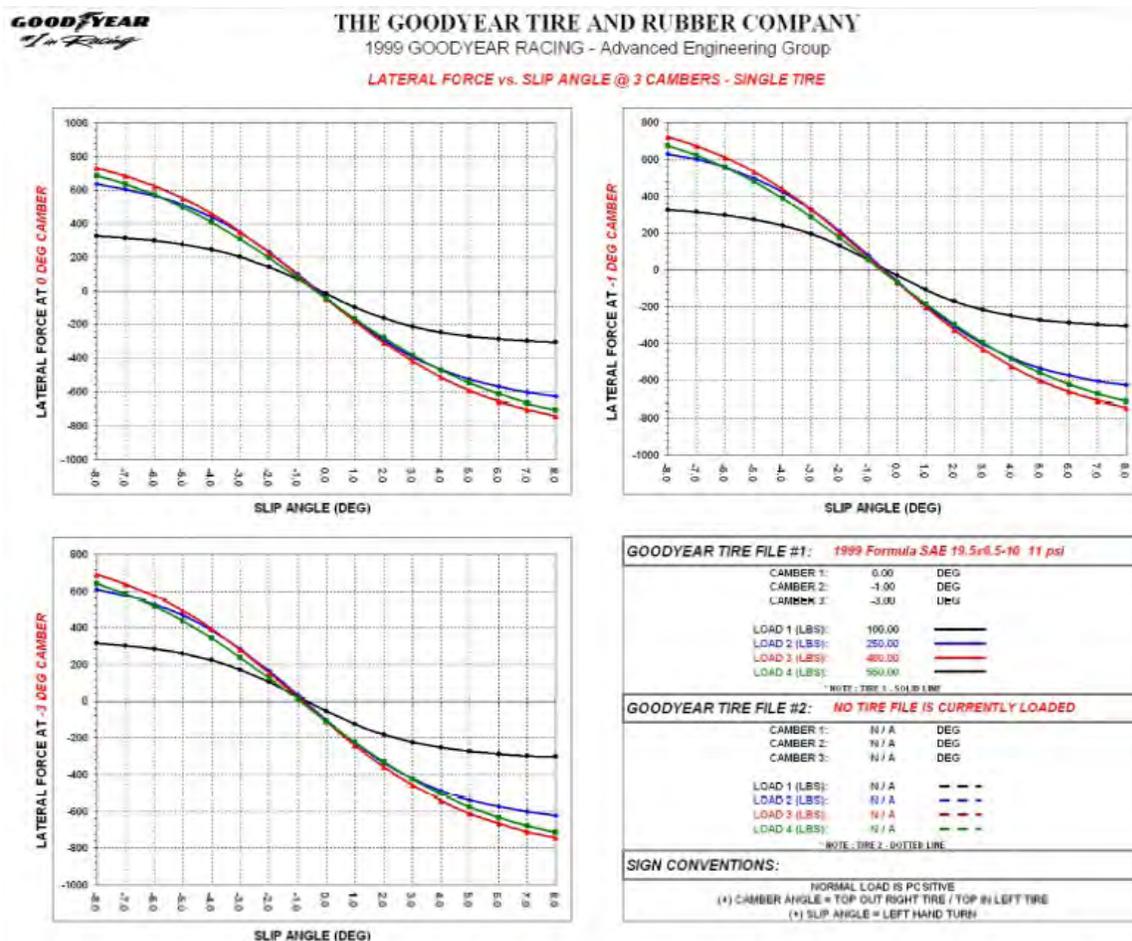


Tabla 2.7.2.b. Gráficas y Tablas Técnicas de Neumáticos para Competencia FSAE.



---

## Referencias Bibliográficas.

- [1] SAE International, FSAE Student Chapter, *FSAE 2011-2012 Rules*, 2012.  
<http://www.sae.org>  
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>  
<http://www.formulastudent.com/>
- [2] Cascajosa, Manuel, *Ingeniería de Vehículos: Sistemas y Cálculos*, Tébar, 2<sup>a</sup> Edición, 2000. ISBN 84-95447-06-1.
- [3] Milliken, William F., *Equations of Motion: Adventure, Risk and Innovation*, Bentley Publishers, 2006.
- [4] Heisler, H., *Vehicle and Engine Technology*, 2<sup>nd</sup> Edition, Arnold, London, 2000.
- [5] Siegel, Martin J., *Mechanical Design of Machines*, International Textbook Company, 4<sup>th</sup> Edition.
- [6] Honda, Giken, Kabushiki y Kaisha, *Honda Shop Manual CBR600Fx*, Honda Motor Company Ltd., 2009.
- [7] Reimpell, J., Stoll, H. y Betzler, J. W., *The Automotive Chassis*, Hardbound, 2001. ISBN- 0: 0-7680-0657-0.
- [8] Navarrete Hernández, Alejandro, Tesis: *Diseño de Carrocerías para un Vehículo Monoplaza Todo Terreno, utilizando Técnicas CAD y CAE*, Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., 2004.
- [9] Jones, J. C., *The Designing of Man-Machine Systems*, Ergonomics, Vol. 10, No. 2, 1967.
- [10] Hunter, Thomas A., Ph. D., *Engineering Design for Safety*, McGraw-Hill, Inc., 1992. ISBN 0-07-031337-7. (*Human Physical Dimensions*, SAE J833 ISO: 3411).



- 
- [11] Ortega Torres, Bernardo, Tesis: *Manual del Proyecto Mini Baja U. N. A. M.*, México, Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., 2003.
- [12] Milliken, William F. y Milliken, Douglas L., *Race Car Vehicle Dynamics*, SAE International, Warrendale, PA. 2007.
- [13] Howard, Geoffrey, Whitehead, John Peter y Bastow, Donald, *Car Suspension and Handling*, Case-bound, 4<sup>th</sup> Edition, 2004. ISBN- 0: 0-7680-0872-7.
- [14] Shames, Irving H., *Engineering Mechanics: Statics and Dynamics*, Prentice-Hall, Engineering Science Series, 2<sup>nd</sup>. Edition, 1967.
- [15] Gaffney, Edmund F., Salinas, Anthony R., *Introduction to Formula SAE Suspension and Frame Design*, SAE Paper 971584., University of Missouri, 2007.
- [16] Breuer, Bert J. y Dausend, Uwe, *Advanced Brake Technology*, Paperbound, 2003. ISBN- 0: 0-7680- 247-3.
- [17] Seiffert, Ulrich W. y Wech, Lothar, *Automotive Safety Handbook*, Hardbound, 2003. ISBN- 0: 0-7680-09 2-X.
- [18] Limpert, Rudolf, *Brake Design and Safety*, SAE Warrendale, PA. 2<sup>nd</sup>. Edition, 1999.
- [19] Popa, Cristina E., Thesis: *Steering System and Suspension Design for 2005 FSAE Race Car*, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, 2005.
- [20] Pacejka, Hans B., *Tire and Vehicle Dynamics*, Paperbound, 2<sup>nd</sup>. Edition, 2005. ISBN- 0: 0-7680- 702-5.
- [21] <http://www.goodyear.com> (2009/2012).



## Referencias de Imágenes.

- [1] Fig. 2.2.1.2., Fig. 2.2.1.3.2. y Fig. 2.3.2.1.

Kawasaki Vehicle Information Center. 2012.

Honda: <http://www.hondamotorcycle.com>

Kawasaki: <http://www.kawasaki.com/site/Kawasaki/Techpubs/>

Suzuki: <http://www.suzukicycles.com>

Triumph: <http://www.triumph.co.uk>

Yamaha: <http://www.yamaha.com>

- [2] Fig. 2.3.3. y Fig. 2.7.a.

Cascajosa, Manuel, Ingeniería de Vehículos: Sistemas y Cálculos, Tébar, 2<sup>a</sup> Edición, 2000. ISBN 84-95447-06-1.

- [3] Fig. 2.4.1.1.

N. E., Carey, N. J. Koch, C. J. J. Martin, M. B. Waite and M. G. Wylie, *FSAE - Power Train*, Department of Mechanical Engineering, The University of Adelaide, Australia, 2001.

- [4] Fig. 2.4.1., Fig. 2.4.2.1.a., Fig. 2.4.2.2., Fig. 2.4.3.a., Fig. 2.4.3.b. y Fig. 2.4.3.1.b.

SAE International, FSAE Student Chapter, *FSAE 2011-2012 Rules*, 2012.

<http://www.sae.org>

<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>

<http://www.formulastudent.com/>

- [5] Fig. 2.4.3.1.a.

Nybacka, Mikael, *Validation of ADMS/Car Simulations and Dynamic Performance in multi-link Suspensions*, Luleå University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, 2005. ISSN: 1402-1617.



[6] Fig. 2.5.2.a.1. y Fig. 2.5.2.a.2.

Shames, Irving H., *Engineering Mechanics: Statics and Dynamics*, Prentice-Hall, Engineering Science Series, 2<sup>nd</sup>. Edition, 1967.

[7] Fig. 2.5.3.1.a. y Fig. 2.5.3.1.b.

UConn Racing Team: <http://www.engr.uconn.edu/~ucracing> (2009).

[8] Fig. 2.5.3.2.2. y Fig. 2.5.3.2.3.

Gaffney, Edmund F., Salinas, Anthony R., *Introduction to Formula SAE Suspension and Frame Design*, SAE Paper 971584., University of Missouri, 2007.

[9] Fig. 2.5.6.a., Fig. 2.5.6.b. y Fig. 2.5.6.1.b.

Ruiz Pérez, C. Israel, *CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL COMPORTAMIENTO DE UN AMORTIGUADOR EN UN BANCO DE ENSAYOS*, Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2012.

[10] Fig. 2.5.6.1.a.

Wright, P., *Formula 1 Technology*, SAE International, Warrendale, PA., 2001.

[11] Fig. 2.6.2.

Limpert, Rudolf, *Brake Design and Safety*, SAE Warrendale, PA. 2<sup>nd</sup>. Edition, 1999.

[12] Fig. 2.7.1.b. y Fig. 2.7.1.c.

Popa, Cristina E., Thesis: *Steering System and Suspension Design for 2005 FSAE Race Car*, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, 2005.



---

## Capítulo 3. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA VISUALIZACIÓN DE OBJETOS EN TERCERA DIMENSIÓN.

### 3.1. REALIDAD VIRTUAL.

Durante los últimos 10 años, se ha visto crecer la popularidad de los sistemas de Realidad Virtual (VR: Virtual Reality), los cuales permiten a los usuarios, interactuar con el entorno virtual sintetizado por medio de una computadora y a través de un visor o un navegador de modelos en tercera dimensión.

Muchos de los sistemas de realidad virtual que fueron experimentados y creados en la década de los años 80's y 90's, mostraron una escasa sensación de realidad, primeramente porque los ambientes estaban completamente sintetizados dentro de una computadora y, segundo, por los altos costos de la tecnología. Debido a ésta limitación, únicamente grandes empresas e institutos de investigación científica e informática, podían incorporar la información disponible del mundo real dentro de sus sistemas de realidad virtual.

En la actualidad, las herramientas e instrumentos de realidad virtual, así como el rápido avance tecnológico, han generado un gran número de aplicaciones en muchos campos de investigación, debido al incremento de las necesidades humanas, a la demanda del mercado y a la mejora en los prototipos que se han llevado a cabo durante estos años; permitiendo una reducción de los costos, en una relación de 4:1 e integrando dicha tecnología con cualquier usuario que desee experimentar el mundo virtual.<sup>[1]</sup>

La *Realidad Virtual*, es un medio que está compuesto de simulaciones interactivas por medio de una computadora u ordenador, que sensibilizan la posición y acciones de un participante (individuo), generando la sensación de que éste se encuentra inmerso o presente en la simulación (mundo virtual).

La experiencia o sensación de realidad virtual, es la culminación de diversos factores, que incluyen la interfaz del usuario, los componentes del mundo virtual y la experiencia de vida del participante.

Los sistemas de realidad virtual, sumergen al usuario dentro de entornos completamente digitales sintetizados. Estos mundos sintéticos pueden simular las propiedades visuales de existencia del mundo real o espacios completamente imaginarios, a veces acompañados de pantallas acústicas y táctiles. Mientras son usados estos sistemas, el usuario no puede ver o interactuar con el mundo real alrededor de él.<sup>[2]</sup>



---

En contraste, la *Realidad Aumentada* (AR: Augmented Reality) permite al usuario ver el mundo real, con objetos virtuales gráficamente superpuestos, sobrepuestos o mezclado con el mundo real.

La *Realidad Mezclada* (MR: Mixed Reality) fue definida por Paul Milgram como el ambiente en el cual, los objetos del mundo real y del mundo virtual están presentados juntos dentro de una pantalla simple, en cualquier lugar entre un continuo entorno de lo real y lo virtual.

### 3.2. REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA.

La realidad virtual inmersiva, es una tecnología de futuro hipotético que existe hoy en día como proyectos de realidad virtual dentro de áreas artísticas, diseño, arquitectura y tecnologías informáticas en su mayor parte.

Se trata de la inmersión en un ambiente artificial, donde el usuario se siente involucrado con mayor frecuencia dentro del entorno virtual, como si estuviera experimentando la sensación en la realidad aumentada<sup>[2]</sup>.

#### 3.2.1. INMERSIÓN.

La inmersión es el estado del conocimiento, donde la conciencia física de un participante inmerso en un ambiente virtual, disminuye o se pierde por estar rodeado de un entorno totalmente fascinante, a menudo artificial. Este estado mental, está frecuentemente acompañado con el exceso de espacio, una concentración excesiva de la mente, un sentido distorsionado del tiempo y por acciones táctiles (Fig. 3.2.1.).

El término es comúnmente utilizado para describir la realidad virtual inmersiva o inmersa, aplicándose principalmente para la interacción artística y entretenimiento (video juegos), pero puede dirigirse y emplearse para un ilimitado número de aplicaciones hacia el campo de investigación o actividad requerida.

La sensación de inmersión total en la realidad virtual (VR), se puede describir como la presencia completamente implícita dentro de un espacio ficticio de un entorno virtual, donde todo lo que se refiere dentro de esa esfera (domo) o habitáculo de virtualidad, es necesariamente la propuesta de la realidad del ciberespacio de ese mundo virtual, donde el participante se encuentra inmerso y aparentemente desconectado por completo del espacio físico exterior.<sup>[2]</sup>

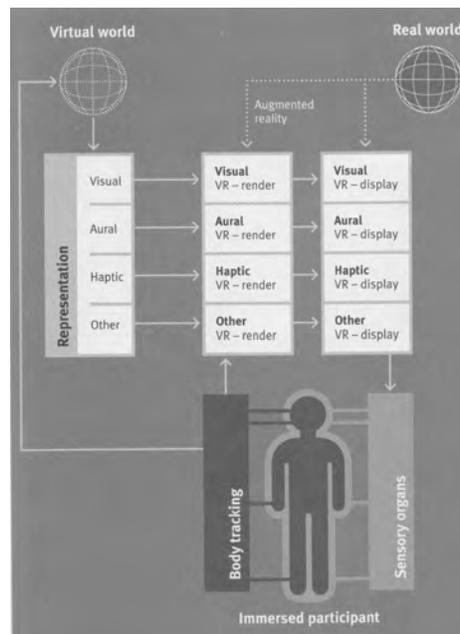


Fig. 3.2.1. Flujo de Información de un Participante Inmerso, a través de un Sistema de Realidad Virtual.

### 3.2.2. TIPOS DE INMERSIÓN.

La inmersión puede separarse principalmente en tres categorías:<sup>[3]</sup>

#### 1. *Inmersión Táctil.*

La inmersión táctil, se experimenta al realizar operaciones o interacciones virtuales táctiles que implican destreza. Los participantes se sienten en el sitio inmerso, mientras las acciones que experimentan, se traducen en el perfeccionamiento del entorno.

#### 2. *Inmersión Narrativa.*

La inmersión narrativa o inmersión sensorial-motriz (sensory-motoric), se produce cuando los participantes se sumergen dentro de una historia, y es similar a lo que se experimenta al leer un libro o viendo una película.

#### 3. *Inmersión Espacial.*

La inmersión espacial ocurre cuando un usuario siente que el mundo simulado es perceptible y convincente. El usuario se siente realmente dentro y el mundo simulado lo ve y siente real.



### 3.2.3. AMBIENTES VIRTUALES INMERSIVOS.

La realidad virtual es la construcción de entornos visuales, sonoros y táctiles, que sintetizan fenómenos y objetos artificiales. Estos ambientes tienen un propósito u objetivo; que pueden ser un modelo del mundo real, un fenómeno o una idea. La realidad virtual es una interfaz para usar, explorar y comprender el mundo artificial, a través de una representación visual-sonora-táctil, sin la exigencia de conocer u operar los detalles o pormenores, cuyo acceso es posible con la implementación de niveles de detalle (realidad), es decir, es una conexión del usuario con el mundo físico o artificial, a través del mundo sintético o virtual.<sup>[4]</sup>

El principal objetivo de la realidad virtual, es emular mundos artificiales que deben cumplir con la mayor cantidad de propiedades del mundo real o una física y lógica bien entendidas por el usuario. De esta manera, es posible generar en el espectador la sensación de inmersión, para que se sienta parte de ese mundo.

- **Las principales características de la realidad virtual, son:**

1. **La Presencia.** Se refiere a sentirse parte del mundo artificial.
2. **La telepresencia.** Tiene que ver con que personas, geográficamente distribuidas, tengan presencia simultánea en el mundo.
3. **La inmersión.** Se relaciona con que el espectador se sienta rodeado del entorno.
4. **Amplio ancho de banda visual.** Es contar con despliegues panorámicos, que permitan colocar gran cantidad de información visual en el escenario.
5. **Estereografía.** Contempla la percepción de profundidad y la ubicación en el espacio tridimensional de los objetos.
6. **Interactividad.** Incluye la realimentación que se tiene con otros espectadores a través del medio de la realidad virtual, así como la respuesta en tiempo real del sistema computacional (y el mundo virtual) a las acciones tomadas por los usuarios.

Los *ambientes virtuales inmersivos*, son espacios tridimensionales reales o imaginarios generados por computadora con los que el usuario puede interactuar y que le producen la sensación de estar dentro. La sensación de presencia se genera al integrar varios elementos como son una rápida generación de varias imágenes de alta calidad por segundo, desplegadas en un área que cubra un amplio grado de campo de visión del usuario, y que son resultado cuando el usuario interactúa al moverse o modificar el espacio y sonido espacial relacionado con el ambiente al que se da vida.<sup>[5]</sup>



En la interacción de estos ambientes se busca que sea de la forma más natural posible, por lo que se llega a recurrir al uso de dispositivos especiales que nos permiten una manipulación natural con el ambiente como pueden ser el uso de guantes, sistemas de rastreo de movimiento o interfaces de entrada muy específicos estrechamente vinculados con el ambiente en que se trabaja, por ejemplo, en simuladores de manejo se utilizan volantes y palancas de velocidades, o en el caso de simulación para cirugía se utilizan simuladores de los instrumentos según la cirugía en cuestión (Fig. 3.2.3.).



Fig. 3.2.3. Participante Inmerso en un Entorno Virtual.

### 3.2.4. AMBIENTES VIRTUALES NO INMERSIVOS.

Existen varios sistemas tridimensionales interactivos como son los creados con VRML (Virtual Reality Modeling Language), con alto grado de interactividad y fácil acceso desde páginas Web. Estos mundos virtuales se les conoce como *no inmersivos*, ya que carecen de la sensación de presencia, la cual se logra con el uso de hardware especial de despliegue, dispositivos, audio espacial y la generación de espacios tridimensionales con escala 1:1 con el mundo real.<sup>[5]</sup>



### 3.2.5. VENTAJAS DE LOS AMBIENTES INMERSIVOS SOBRE LOS NO INMERSIVOS.

Las ventajas se producen al tener capacidades con las que no se cuentan en los sistemas no inmersivos, como la libertad y amplitud de movimiento en la escena generada, las sensaciones que se producen con el sonido espacial y la retroalimentación táctil, así como los mayores detalles al visualizar los objetos y la escala a la que se proyectan los ambientes.

En los casos de ingeniería (manufactura y diseño) y arquitectura, el poder analizar los objetos en escala real, permite tomar decisiones, realizar y observar las modificaciones en el espacio del objeto. En aplicaciones como las de psicología o entrenamiento quirúrgico, tener un despliegue que cubre la mayor parte de campo de visión del usuario, crea la sensación de estar dentro, generando mayor impacto en las sensaciones generadas, que son importantes en esta clase de aplicaciones. En el área de visualización de datos, el análisis de estructuras complejas se amplía al poder moverse el usuario entre los datos que está visualizando, permitiendo analizar y relacionar resultados desde otros puntos de vista.<sup>[5]</sup>

### 3.3. ESTEREOSCOPIA O VISIÓN EN 3D.

La *Estereoscopia* también llamada *Visión en Tres Dimensiones o Visión en Relieve*, es el resultado de la capacidad del sistema visual, de poder interpretar un aspecto tridimensional a los objetos, a partir de las imágenes en dos dimensiones obtenidas en cada una de las retinas de los ojos.<sup>[6]</sup>

En la *Visión Estereoscópica*, el mecanismo natural de visión del ser humano es en *estéreo*, es decir, somos capaces de apreciar, que en el entorno en el que nos movemos, los objetos se encuentran a diferentes distancias y poseen diferentes volúmenes. Debido a la separación de nuestros ojos, el ser humano obtiene dos perspectivas de cada uno de los objetos que observa, es decir, obtenemos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, a lo que denominamos *disparidad*. Pero es gracias a la forma en que nuestro cerebro procesa e interpreta dichas diferencias, en donde, la vista de cada ojo se envía por separado al cerebro, el cual se encarga de combinarlas emparejando las similitudes y añadiendo las diferencias, para producir finalmente una imagen en *estéreo*, de forma que percibamos la sensación de profundidad, lejanía o cercanía de los objetos que nos rodean. Este proceso se denomina *estereopsis*.

Los seres humanos no nacen viendo en estéreo, esto es algo que se va desarrollando desde el momento en que nace, por tal razón, no es recomendable que un niño menor de 6 años sea expuesto a imágenes estereoscópicas generadas por computadora.



Los sistemas de visualización en 3D, se basan en la visión binocular estereoscópica, la cual es una habilidad natural en el ser humano, que le permite percibir las diferentes distancias y volúmenes en el entorno. Para percibir la tridimensionalidad, el cerebro interpreta la realidad a partir de las imágenes que le proporcionan cada uno de los ojos; estas imágenes presentan pequeñas diferencias entre sí, debidas a la separación entre los ojos. Este fenómeno es conocido como *disparidad o parallax (paralaje)*. De esta manera, para reproducir el efecto de la visión binocular, debemos generar una imagen ligeramente diferente para el ojo izquierdo y otra para el ojo derecho del espectador y, luego conseguir mediante diferentes métodos, que cada ojo reciba únicamente la imagen que le corresponde.<sup>[7]</sup>

Un factor que interviene directamente en esta capacidad, es la separación ínter ocular, es decir, a mayor separación entre los ojos, mayor es la distancia a la que apreciamos el efecto de relieve. Esta propiedad se aplica mediante prismas, donde se consigue una separación ínter ocular efectiva mayor que la normal, con lo que se consigue apreciar en relieve objetos distantes que en condiciones normales no seríamos capaces de separar del entorno. También se aplica en la fotografía aérea, en la que se obtienen pares estereoscópicos con separaciones de cientos de metros y en los que es posible apreciar claramente el relieve del terreno, lo que con la visión normal y desde gran altura sería imposible. El efecto obtenido con una separación ínter ocular mayor que la habitual, es el de que los objetos parecen más pequeños de lo normal. Ésta técnica se denomina hiper-estereoscopia.

El efecto contrario se conoce como hipo-estereoscopia, es decir, es la reducción de la distancia ínter ocular, imprescindible para obtener imágenes estereoscópicas de pequeños objetos (macrofotografías) e incluso obtenidas por medio de microscopios.

Por lo tanto, existe una distancia límite a partir de la cual no somos capaces de apreciar la separación de planos, y que varía de unas personas a otras. Así, la distancia límite a la que dejamos de percibir la sensación estereoscópica puede variar desde unos 60 metros hasta unos cientos de metros.

#### 3.3.1. IMAGEN ESTEREOSCÓPICA Y PARALLAX.

- **Imagen Estereoscópica:**

Una *imagen estereoscópica o en tres dimensiones (3D)*, es aquella que al verla con un dispositivo especial, se ve con profundidad.<sup>[6]</sup>

Este fenómeno puede ser explicado físicamente, de la siguiente forma:

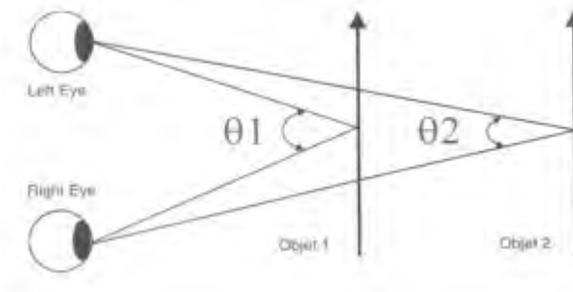


Fig. 3.3.1. Ángulo Óptico.

Como se ve en la Fig. 3.3.1., el objeto 1 está más cerca de los ojos que el objeto 2, esto debido a que el ángulo  $\theta_1$  es mayor que el ángulo  $\theta_2$ . A estos ángulos se les conoce como **ángulos ópticos**. El ángulo óptico está formado por el objeto al que estamos observando y por nuestros ojos izquierdo y derecho. Gracias a este ángulo, nos damos cuenta de que un objeto está más cerca o más lejos de nosotros. Por ejemplo, gracias a él, podemos calcular la distancia a la cual se encuentra un vehículo al que queremos abordar o que tanto debemos estirar nuestras manos para alcanzar un objeto.

- **Parallax:**

Para poder observar una imagen tridimensional en la pantalla de una computadora, es necesario simular la Disparidad Retinal, es decir, se debe tener una imagen para el ojo derecho y otra para el ojo izquierdo. Cada una desde un ángulo diferente de la misma imagen.

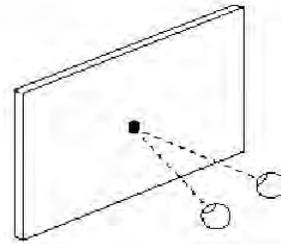
La distancia horizontal entre un objeto, en la imagen derecha del ojo y del mismo objeto en la imagen izquierda del otro, se conoce con el nombre de **Parallax**. Con la ayuda de las gafas para visión en 3D, el Parallax se convierte en Disparidad Retinal, debido a que éstas tienen como función, mostrarle a cada uno de los ojos la imagen que verían en la realidad, es decir, la imagen que cada uno de los ojos observaría, si estuviera en el sitio donde fue tomada una fotografía.

- **Tipos de Parallax:**



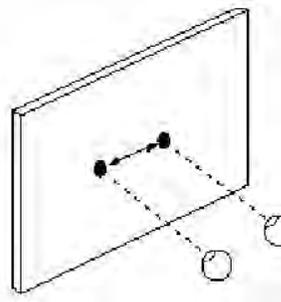
- Zero Parallax:

Ocurre cuando los puntos homólogos de las imágenes, están exactamente uno encima del otro. El resultado de esto, es que la imagen resultante en 3D se ve como si estuviera en la pantalla del monitor.



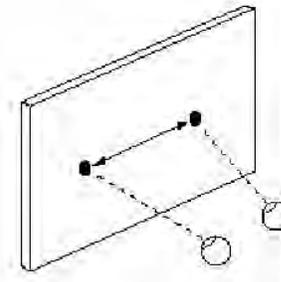
- Parallax Positivo:

Ocurre cuando la separación entre los puntos homólogos de las imágenes, es igual a la separación de los ojos. Este fenómeno ocurre en el mundo real cuando se mira una imagen muy lejana. Cuando se está trabajando con imágenes cercanas, observarlas con este parallax causa mucha molestia, así que debe evitarse.



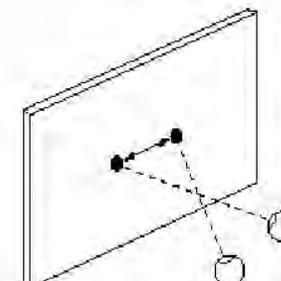
- Parallax Divergente:

Ocurre cuando la separación entre los puntos homólogos de las imágenes, es mayor a la separación de los ojos. Este tipo de parallax debe evitarse siempre, ya que no existe ninguna razón para utilizarlo y produce una gran molestia a los ojos.



- Parallax Negativo:

Ocurre cuando la separación entre los puntos homólogos de las imágenes, es negativa. Cualquiera que sea esta separación, causará que la imagen se salga de la pantalla de la computadora. Este tipo de parallax debe manejarse con cuidado, por que puede ocasionar molestias a los ojos.





### 3.3.2. SISTEMA DE PRESENTACIÓN.

En los años noventa, gracias al desarrollo de las gafas LCD y los dispositivos HMD (Head Mounted Display), comenzó a incrementar el número de usuarios que podían disfrutar de ésta tecnología, pero no fue sino hasta los últimos 5 años, en donde los precios de las gafas disminuyeron, además, el número de personas y aplicaciones en los que se utiliza ésta tecnología, ha ido en aumento, a tal grado, que hoy en día, la mayoría de las computadoras que tienen las familias en sus hogares, puede soportar el uso de estos dispositivos.

Los dispositivos que actualmente utilizamos para observar la información espacial en un sólo plano, se ven reducidos ante la posibilidad de incluir elementos de realidad virtual, que nos permitan mostrar imágenes en tres dimensiones de manera inmersiva. La utilización de dispositivos, como los lentes LCD que requieren los distintos sistemas de generación de imágenes estereoscópicas, proporcionan un acercamiento del entorno de procesamiento visual totalmente diferente, que permiten apreciar la visualización de objetos con geometrías simples o complejas con volumen; lo que da una sensación de inmersión que puede llegar a ser tan real, que la primera reacción al mirar las imágenes, será levantar la mano para intentar tocar lo que estamos viendo.

Existen muchos *sistemas de presentación de imágenes estereoscópicas*, capaces de dar una sensación de profundidad parecida a la que percibe la visión normal. Por ser los más utilizados en las computadoras y dentro del Observatorio de Visualización de la U. N. A. M. (Sala Ixtli), solamente se describirán los sistemas basados en el *anaglifo*, en la *polarización* y en la *obturación*.

A continuación se explican los principales sistemas de presentación:<sup>[7 y 8]</sup>

- **Anaglifo:**

Los *anaglifos* se forman de dos imágenes sobrepuestas, que al verse por medio de gafas o lentes que utilizan filtros de colores para separar las imágenes, producen la sensación del ambiente tridimensional.

Para obtener las imágenes correspondientes para cada ojo, se utilizan filtros de distintos colores como: rojo-cyan, rojo-verde o ámbar-azul (Fig. 3.3.2.a.).

Las ventajas de utilizar este sistema, son su bajo costo y la posibilidad de proyectarlos sin necesidad de equipo especial; sus desventajas, son la alteración de los colores y el cansancio visual que puede generar su uso en un corto tiempo.

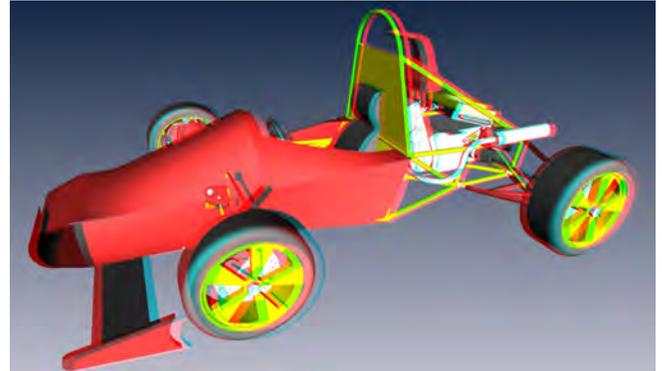


Fig. 3.3.2.a. Sistema Anaglifo.

- **Polarización (Estéreo Pasivo):**

Este sistema, está basado en los principios de polarización de luz, en donde el observador utiliza filtros de colores complementarios como rojo y cian, amarillo y violeta, rojo y verde o filtros polarizados (sin colores).

En este sistema se obtienen dos imágenes, una polarizada en un sentido y la otra a 90 grados; con ayuda de gafas igualmente polarizadas, cada ojo ve la imagen que le corresponde debido al bloqueo de la luz.

El sistema de polarización, logra una percepción de profundidad superior al anáglifo y permite una representación correcta de los colores sin provocar cansancio visual. Tienen el inconveniente de requerir dispositivos de procesamiento visual especializados, como son: dos proyectores dotados de lentes polarizados o un proyector especialmente modificado y una pantalla con recubrimiento metálico que no despolarice la luz. (Fig. 3.3.2.b.1.).

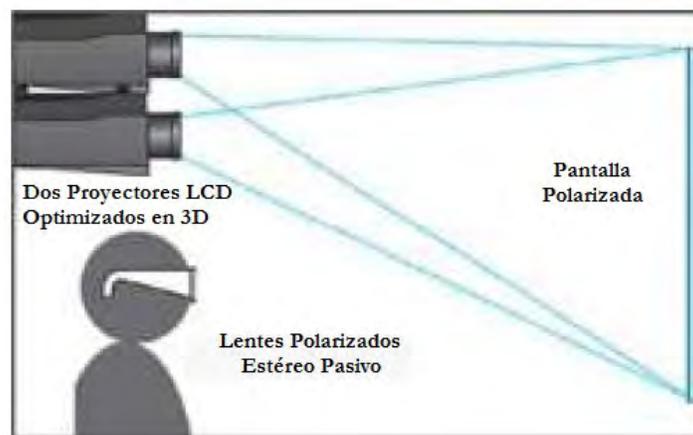


Fig. 3.3.2.b.1. Polarización (Estéreo Pasivo).



El sistema de polarización no altera los colores, aunque hay una cierta pérdida de luminosidad y cansancio visual después de un uso prolongado. Se usa tanto en proyección de cine en 3D, como en monitores de computadora mediante pantallas de polarización alternativa. Hoy en día es el sistema más económico para una calidad de imagen aceptable (Fig. 3.3.2.b.2.).



Fig. 3.3.2.b.2. Sistema de Polarización.

- **Obturación (Estéreo Activo):**

Este sistema, está basado en el uso de gafas o lentes de cristal líquido, sincronizados con la pantalla de una computadora o un televisor, con el fin de mostrar y crear la ilusión de tridimensionalidad estereoscópica, en donde es proyectada cada una de las imágenes correspondientes para cada ojo, de tal modo, que se active el obturador del ojo derecho para impedir que éste vea la imagen que no le corresponde y viceversa, es decir, que los ojos, vean su correspondiente imagen proyectada (Fig. 3.3.2.c.1.).

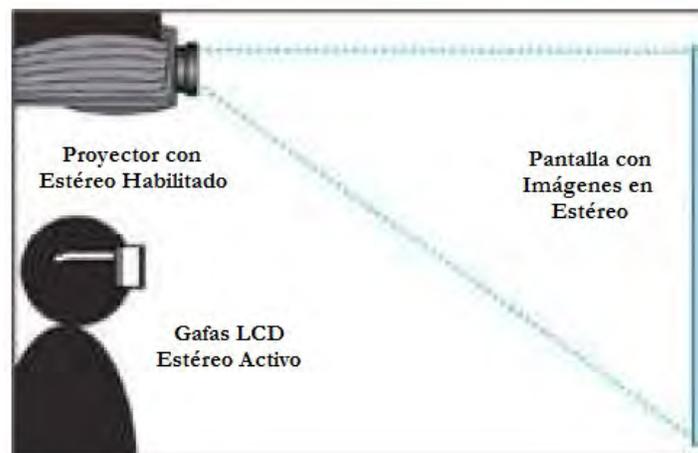


Fig. 3.3.2.c.1. Obturación (Estéreo Activo).



En el sistema de obturación o conmutación, la presentación de la imagen para cada ojo se alterna en el tiempo, cuando recibimos la imagen correspondiente del ojo izquierdo, se ocluye la del ojo derecho y, viceversa. Para ocultar la imagen, se usan obturadores de cristal líquido (LCD) que actúan a una frecuencia lo suficientemente rápida para que el espectador no aviste el parpadeo y perciba la profundidad en la imagen presentada (Fig. 3.3.2.c.2.).



Fig. 3.3.2.c.2. Sistema de Obturación.

El barrido de imagen debe ser a una frecuencia superior a los 100 [Mhz] y que no sea perceptible a la vista con el parpadeo de los ojos y con la propia sincronización de los lentes LCD. Existen diferentes métodos para mostrar las imágenes tridimensionales utilizando esta técnica, pero en general cumplen el mismo principio. Este sistema logra la mayor sensación de profundidad, pero es más costoso, pues se requieren de gafas LCD (*shutter glasses*) que se cierran y abren de forma sincronizada con el dispositivo de visualización.

- **HMD (Head Mounted Display):**

Un HMD es un casco estereoscópico que porta dos pantallas y los sistemas ópticos para cada ojo, de forma que la imagen se genere en el propio dispositivo. Su principal uso hasta ahora ha sido la Realidad Virtual, a un costo muy elevado y de forma experimental, aunque actualmente la demanda del mercado globalizado permite la reducción de precios y aparecen otras aplicaciones lúdicas, como en los videojuegos (Fig. 3.3.2.d.).



Fig. 3.3.2.d. Sistema HMD.



### 3.4. REQUERIMIENTOS DE LOS AMBIENTES VIRTUALES INMERSIVOS.

Los ambientes virtuales inmersivos, de acuerdo con la aplicación a la que estén dirigidos, requieren de alguno o varios de los siguientes elementos:<sup>[5]</sup>

- **Cargadores de Escenas 3D.**

Estos son componentes de software que permiten leer desde uno o varios archivos en diversos formatos, la escena 3D o las partes que forman la escena 3D, como son: geometrías, imágenes, personajes, sonidos, etc.

- **Diversas Formas de Navegación.**

Las formas de navegación, son las maneras en que el usuario puede mover los objetos virtuales para inspeccionarlos o para moverse a través de la escena. Algunas de estas formas de navegación son, por ejemplo: moverse alrededor del objeto, teniéndolo en el centro de visión, “volar libremente” en una escena 3D o simular que el usuario camina en la escena 3D.

- **Manejo de Colisiones.**

Dependiendo de las formas de navegación, se puede requerir atravesar cualquier objeto para la navegación libre, o que se detecten las colisiones con los objetos para simular que el usuario camina por la escena 3D.

- **Animación de Objetos.**

Las escenas 3D pueden contener elementos no estáticos, los cuales pueden ser objetos animados desde dentro de la aplicación o animaciones creadas desde algún software de animación.

- **Simulación de Física.**

Para incrementar el realismo en las escenas 3D, se puede implementar la simulación de física de objetos que se vean afectados por la gravedad, que haya fricción entre ellos o que puedan aplicarse fuerzas a mecanismos.

- **Integración de Personajes.**

Se pueden agregar personajes a las escenas 3D, ya sea para tener un avatar que nos guíe a través del mundo virtual o para incrementar el realismo de la escena, al tener muchos personajes que pasean en ella.



- **Inteligencia Artificial.**

Para la simulación de comportamientos complejos dentro de los ambientes virtuales, se requiere la implementación de algoritmos de inteligencia artificial. Por ejemplo, para determinar qué metas requiere cumplir un usuario en una aplicación de entrenamiento o para simular el comportamiento de un grupo de personas caminando en un cruce de dos calles de una ciudad.

- **Sonido Espacial.**

La escena puede contener sonidos que tienen posiciones específicas en el espacio 3D, de manera que el usuario que navegue en ella tenga la sensación de que auditivamente se está en un ambiente real.

- **Programación de Despliegue en Espacios Envolventes.**

El despliegue de la aplicación de realidad virtual inmersiva se puede realizar con cascos HMD, con caves (son seis pantallas que forman un cubo dentro del cual está el usuario), pantallas curvas (Sala Ixtli), etc.; los cuales dan la sensación de que la escena 3D envuelve al usuario.

- **Integración de Interfaces de Interacción.**

Para interactuar con las escenas 3D, existen diversos dispositivos que permiten manipular los objetos virtuales. Por ejemplo, guantes electrónicos para “tomar” moléculas virtuales o los complejos brazos electro-mecánicos (llamados dispositivos hápticos o táctiles) para la simulación de cirugías.

- **Opciones de Desarrollo Comercial.**

Para la integración de los elementos mencionados anteriormente, existe software comercial que permite desarrollar las aplicaciones por medio de programación visual, como son los paquetes de Virtools y Quest3D, entre varias opciones. Estas aplicaciones funcionan en plataformas Windows y excluyen plataformas como Linux e Irix. Además de ser herramientas de costo muy elevado por estar enfocados al mundo comercial.

- **Desarrollo con Software Libre.**

Buscando la portabilidad de las bibliotecas en los diferentes sistemas operativos, la distribución y el uso del software de forma libre, permite desarrollar la programación de las aplicaciones, integrando diferentes bibliotecas y sistemas de archivos de diversas distribuciones libres. Para desarrollar alguna de las aplicaciones, se requiere de una estructura que nos permita manipular los objetos geométricos que forman la escena.

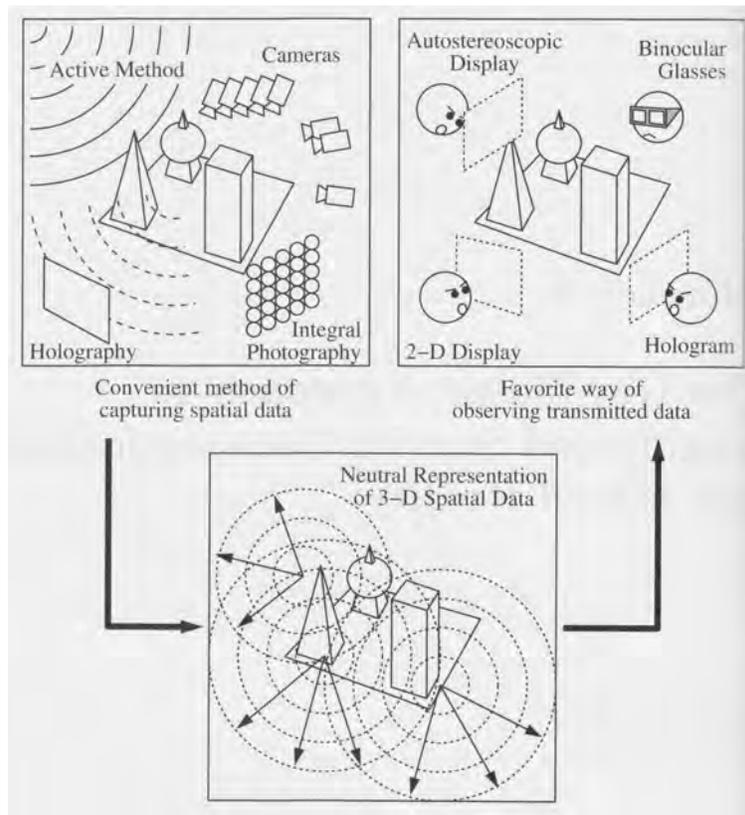


Fig. 3.4. Sistema Integrado de Comunicación Visual en 3D dentro de los Ambientes Virtuales Inmersivos.

### 3.4.1. INTERFAZ DEL USUARIO.

La Experiencia de la Realidad Virtual, es la culminación de diversos factores, incluyendo la interfaz del usuario, los componentes del mundo virtual y la experiencia de vida del participante.

La Interfaz del Usuario, son todos los elementos, herramientas y componentes, que permiten interactuar con el lenguaje de programación en conjunto con el lenguaje máquina hacia el mundo virtual, a través de equipos (hardware) y programas (software) especializados, así como dispositivos de entrada y salida mediante tecnologías informáticas y electrónicas.<sup>[2]</sup>

A continuación se muestra la forma esquemática de la Interfaz del Usuario en la Realidad Virtual.



<b>Interfaz del Usuario</b>	
<b>Componentes de Hardware hacia el Usuario</b>	
<b><i>Entrada</i></b>	<b><i>Salida</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rastreo del Cuerpo: Muestra como la computadora ve al usuario.</li> <li>• Reconocimiento de Voz y Sonido: Muestra como la computadora escucha al usuario.</li> <li>• Controles Físicos: Muestra como la computadora siente al usuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición Visual: Muestra como el usuario ve el mundo virtual.</li> <li>• Exposición Áurea: Muestra como el usuario escucha el mundo virtual.</li> <li>• Exposición Táctil: Muestra como el usuario siente el mundo virtual.</li> </ul>
<b>Componentes de Software hacia el Usuario</b>	
<b><i>Sistema de Presentación</i></b>	<b><i>Interacción del Usuario con el Mundo Virtual</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentación.</li> <li>• Sistema de Traducción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipulación.</li> <li>• Navegación.</li> <li>• Experiencia Compartida.</li> </ul>
<b>Mundo Virtual</b>	<b>Experiencia de Vida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmersión.</li> <li>• Punto de Visión.</li> <li>• Ubicación del Lugar o Sitio.</li> <li>• Simulación.</li> <li>• Objeto de Estudio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria.</li> <li>• Habilidades y Destrezas.</li> <li>• Experiencia Pasada.</li> <li>• Estado Emocional.</li> <li>• Entorno Cultural.</li> </ul>



### 3.4.2. GRADOS DE LIBERTAD.

Un grado de libertad (DOF: Degree of Freedom) es una forma particular, en la cual un cuerpo puede moverse en el espacio. Éste puede ser en una rotación alrededor de algún eje o desplazándose a lo largo de una línea recta (ésta última es referida a la traslación).

En algunos mecanismos estos movimientos pueden ser combinados para permitir a un cuerpo, un rango más amplio de movimiento y mayor libertad de maniobra.

Los grados de libertad nos permiten interactuar y manipular la magnitud del entorno virtual al que se quiere introducir el usuario, así como definir un objeto en el espacio de trabajo de manera rotacional y traslacional.<sup>[2]</sup>

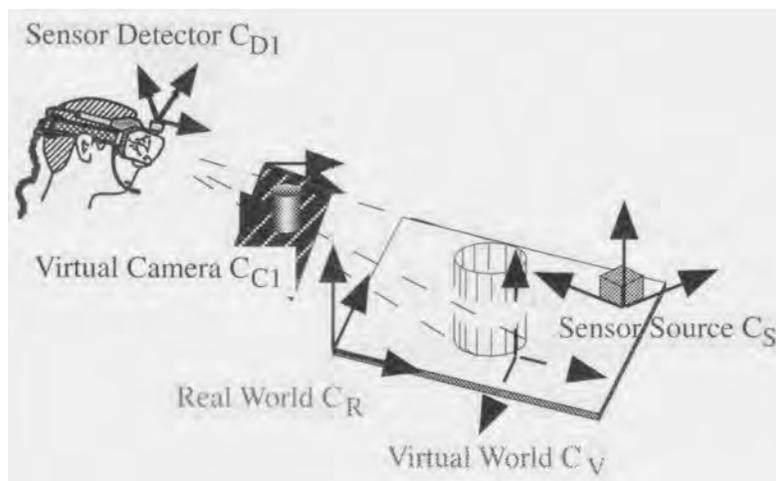


Fig. 3.4.2. Grados de Libertad dentro de un Sistema de Coordenadas Típico utilizado en la Realidad Virtual Aumentada.

### 3.4.3. VISOR O VISUALIZADOR DE MODELOS.<sup>[9]</sup>

El Visor de Modelos Tridimensionales, tiene un papel fundamental en la muestra o despliegue estereoscópico de la realidad virtual inmersiva, pues en este componente de la interfaz, todos los objetos geométricos o modelos, son mostrados en un espacio en tercera dimensión (3D), así como también pueden ser examinados.



Además, el visor de modelos, ofrece técnicas de interacciones rápidas y poderosas.

**El Visualizador de Modelos**, puede ser entendido, como una cámara virtual suspendida dentro del entorno gráfico, que puede moverse a una posición arbitraria dentro de la escena 3D.

Algunas veces, es necesario manipular directamente, algún objeto en particular en el visor de modelos. Esta técnica llamada interacción en 3D, es usada por los manipuladores, que son herramientas especiales que pueden ser seleccionadas, trasladadas o rotadas para especificar la transformación de un modelo.

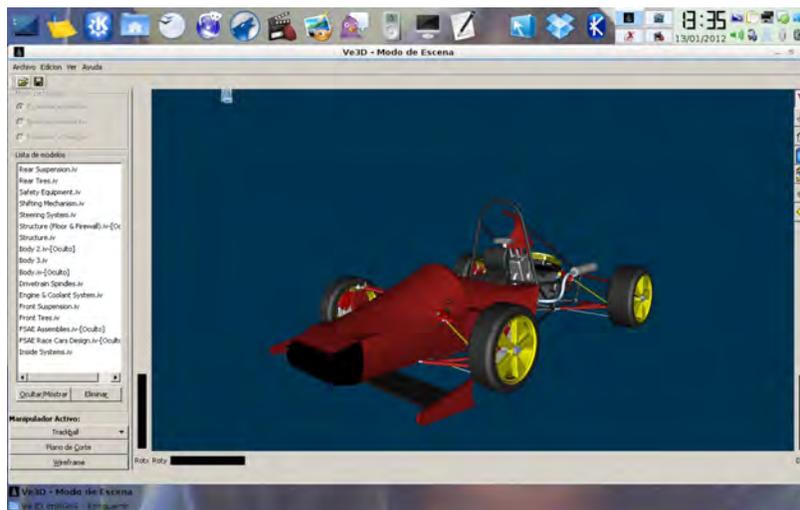


Fig. 3.4.3.a. Visor de Modelos con Ve3D sobre Plataforma Linux en ambiente KDE.

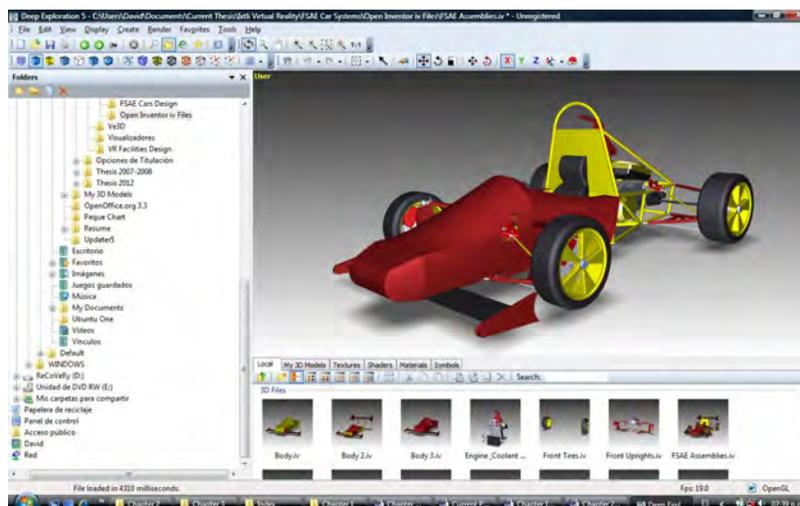


Fig. 3.4.3.b. Visor de Modelos con Deep Exploration sobre Plataforma PC en ambiente Windows.



### 3.4.4. NAVEGADOR DE MODELOS.<sup>[9]</sup>

Un Navegador de Modelos, es otro de los componentes esenciales de la realidad virtual inmersiva, pues en éste, es posible explorar mundos virtuales almacenados en archivos con los formatos soportados VRML y Open Inventor.

**El Navegador de Modelos**, puede ser entendido, como la cámara de un personaje vista en primer plano, la cual puede moverse libremente en el mundo virtual tridimensional. Este personaje puede avanzar, retroceder y frenar, así como girar la cabeza en cualquier dirección.



Fig. 3.4.4. Navegador de Modelos con Navio (Explanada Facultad de Medicina, C. U.).

### 3.4.5. DESPLIEGUE DE SOFTWARE DENTRO DE LA SALA IXTLI.

La utilización e implementación de herramientas para la visualización de diversas áreas de estudio, define el ambiente o entorno de trabajo, así como la paquetería especializada para el despliegue e interacción de elementos tridimensionales, así como de realidad virtual inmersiva.

Estos elementos tridimensionales, son herramientas que facilitan la comprensión de fenómenos y conceptos relacionados con estructuras complejas, a través del despliegue de software especializado para cada campo de investigación.



---

A continuación se describen los programas que son utilizados y compatibles con los entornos virtuales en 3D, dentro del Observatorio Ixtli para cada área de estudio.

**1. Ciencias, Ingeniería, Arquitectura y Diseño Industrial:**

- Ve3D
- Navio
- More 3D
- 3DMax
- AutoCAD
- Catia
- Unigraphics
- SolidEdge
- SolidWorks

**2. Medicina, Biología y Química:**

- Amira
- Pymol
- VMD

**3. Ciencias Sociales, Humanidades y Artes:**

- Quest3D
- Virtools
- XNA

Como podemos observar, este capítulo muestra la utilización de diversas técnicas de interacción en 3D, que deben considerarse al momento de presentar la visualización de objetos tridimensionales para cada área de estudio. Sin embargo, la realidad virtual dentro del Observatorio Ixtli, nos permite simular, estudiar y analizar objetos de geometría simple y compleja, a través de la ayuda de sistemas especializados de despliegue estereoscópico, así como trabajar en el estudio de investigación en diversas áreas de ciencias exactas e ingeniería, arquitectura y arte, medicina y ciencias biológicas, humanidades, ciencias sociales y psicología.

Aunado, algunos factores clave que hay que considerar de forma particular en la visualización, son la dirección en el área de aplicación y el enfoque de desarrollo práctico, entre otros, es decir, que para nuestro caso de estudio, es la muestra del despliegue tridimensional del vehículo FSAE en escala real [1:1], con el objeto de apreciar los elementos internos que lo conforman, las características de diseño y el prototipo final como Producto Terminado en una Presentación Visual, a través de la simulación virtual del mismo.



---

## Referencias Bibliográficas.

- [1] Ohta, Yuichi y Tamura, Hideyuki, *Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, Ohmsha Ltd. & Spring-Verlag. 1999.
- [2] Craig, Alan B. y Sherman, William R., *Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design*, Morgan Kaufmann, The Morgan Kaufmann Series, 2003.
- [3] Adams, Ernest, *Postmodernism and the Three Types of Immersion*, Gamasutra, 2004.
- [4] Heras Lara, Lizbeth y Villarreal Benítez, José Luis, *La Realidad Virtual en los Nuevos Paradigmas de la Ciencia de Datos*, Revista Digital Universitaria, Septiembre 2011, Volumen 12, Número 9. U. N. A. M. México, ISSN: 1067-6079.  
URL: <http://www.revista.unam.mx/vol.12/num9/art87/index.html>
- [5] Ramos N., María del Carmen, Larios D., José, Cervantes C., Daniel y Leriche V., Renato, *Creación de Ambientes Virtuales Inmersivos con Software Libre*, Revista Digital Universitaria, Junio 2007, Volumen 8, Número 6. U. N. A. M. México, ISSN: 1067-6079.  
URL: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art7/art7.htm>
- [6] Vince, John A., *Introduction to Virtual Reality*, Spring-Verlag, London, 2004.
- [7] Sánchez M., Celia V. y Rosales León, Luis, *Herramientas de Visualización Molecular para la Enseñanza*, Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, U. N. A. M., México, 2008.
- [8] Godoy A., Víctor H. y Ramos N., María del Carmen, *Especificación del Entorno de Trabajo Gráfico para los Sistemas de Proyección Estereoscópica*, Abril 2009, Departamento de Realidad Virtual, D. G. S. C. A., U. N. A. M., México.
- [9] Fuentes Viruette, Alex y Villegas Díaz, Candy M., *Manual de Usuario de Ve3D*, Versión 1.5.0, Español, Departamentos de Realidad Virtual y de Visualización, D. G. S. C. A., U. N. A. M. 2006-2007.

- Sitios de Interés:

- [a] <http://www.tic.unam.mx/> (2012).
- [b] <http://www.ixtli.unam.mx/> (2012).



- [c] <http://sites.google.com/site/rvunam> (2012).  
[d] <http://www.openscenegraph.org> (2011).  
[e] [www.vrlab.umu.se/research/osgAL](http://www.vrlab.umu.se/research/osgAL) (2011).

## Referencias de Imágenes.

Fig. 3.2.1. y Fig. 3.2.3.

Craig, Alan B. y Sherman, William R., *Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design*, Morgan Kaufmann, The Morgan Kaufmann Series, 2003.

Fig. 3.3.1. Vince, John A., *Introduction to Virtual Reality*, Spring-Verlag, London, 2004.

Fig. 3.3.2.b.1. y Fig. 3.3.2.c.1.

Godoy A., Víctor H. y Ramos N., María del Carmen, *Especificación del Entorno de Trabajo Gráfico para los Sistemas de Proyección Estereoscópica*, Abril 2009, Departamento de Realidad Virtual, D. G. S. C. A., U. N. A. M., México.

Fig. 3.3.2.a., Fig. 3.3.2.b.2. y Fig. 3.3.2.c.2.

Ramírez Muñoz, David Francisco (Usuario Inmerso), *Observatorio de Visualización de la U. N. A. M. (Sala Ixtli)*, Ciudad Universitaria, México. 2012.

Fig. 3.3.2.d., Fig. 3.4. y Fig. 3.4.2.

Ohta, Yuichi y Tamura, Hideyuki, *Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, Ohmsha Ltd. & Spring-Verlag. 1999.

Fig. 3.4.3.a. Ve3D Software, Version 1.5.0. (Fórmula SAE, Autor: Ramírez Muñoz, David F.).

Fig. 3.4.3.b. Deep Exploration Software, Version 5.0. (FSAE, Autor: Ramírez Muñoz, David F.).

Fig. 3.4.4. Ramos N., María del Carmen, Larios D., José, Cervantes C., Daniel y Leriche V., Renato, *Creación de Ambientes Virtuales Inmersivos con Software Libre*, Revista Digital Universitaria, Junio 2007, Volumen 8, Número 6. U. N. A. M. México, ISSN: 1067-6079. URL: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art7/art7.htm>



## Capítulo 4. VISUALIZACIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA ESTILO FÓRMULA SAE, A TRAVÉS DE TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS ESTEREOSCÓPICAS DENTRO DEL OBSERVATORIO IXTLI U. N. A. M.

### 4.1. DISEÑO DE SISTEMAS DEL VEHÍCULO.

El objetivo principal de este trabajo de tesis, es definir y diseñar una propuesta en tercera dimensión de los elementos y las características de los **Diferentes Sistemas que Componen un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE**, de acuerdo a los requerimientos establecidos por el reglamento vigente FSAE<sub>[1]</sub> y; mostrar el despliegue e interacción estereoscópica del mismo, con técnicas, herramientas y aplicaciones tecnológicas tridimensionales, en especial, la realidad virtual inmersiva, manipulando la interacción del proyecto diseñado, dentro del Observatorio de Visualización Científica Ixtli U. N. A. M.<sub>[2]</sub>

Estos sistemas han sido diseñados y seleccionados en base a los criterios y necesidades del tipo de vehículo y a las especificaciones generales de diseño establecidos por el reglamento del FSAE, como lo son: dimensiones, seguridad (pasiva y activa), complejidad de diseño, fácil mantenimiento y reparación de los componentes, compatibilidad con refacciones comerciales de bajo costo y fabricación, reducción de peso con los materiales empleados, además debe asegurarse la confiabilidad, precisión, eficacia, desempeño, eficiencia y estabilidad en el funcionamiento de los sistemas y de los propios mecanismos que lo conforman, así como de rápido reemplazo utilizando el mínimo de herramientas en caso de avería. Así también, debe contar con el mejor y más factible diseño aerodinámico, así como estético de la carrocería que es un punto muy importante al agrado visual de los jueces en la competencia y en la puntuación y calificación final del evento, entre otros.

Los esfuerzos mecánicos de un material, son los valores que se obtienen y que se estudian en relación a las propiedades internas que posee cada material. Entre estos esfuerzos, existen diferentes criterios que deben considerarse, como son el tipo de material, las propiedades físicas producidas por la fatiga del material, los esfuerzos estructurales y las vibraciones; y al propio diseño del producto y a la seguridad de los productos finales, es decir, esto implica que en el diseño de los productos se garantice su uso y se prolongue el tiempo de trabajo y de vida; es por ésta razón, que se realizará un estudio en el proceso de la selección de los materiales que serán destinados al diseño de la estructura y al de algunos sistemas o elementos que lo integran, como el sistema de suspensión, esto establecido dentro del reglamento.<sub>[Apéndice: E]</sub>



## 4.1.1. ESTRUCTURA.

### 4.1.1.1. PROCESO EN LA SELECCIÓN DE MATERIALES.

El *diseño de ingeniería de un producto*, es una actividad difícil, compleja, multidisciplinaria y enfocada a la resolución de problemas. El diseño de un producto, es habitualmente un esfuerzo combinado de un equipo compuesto de profesionales de las disciplinas de ingeniería pertinentes, los cuales evalúan críticamente la conformidad del producto con los requisitos de diseño.

En el *Proceso de Diseño Conceptual*, es importante definir que tipo de material debe seleccionarse, ya que forma parte de las actividades asociadas en cada etapa de diseño. Por consiguiente, es importante decidir con suficiente anticipación acerca de los materiales que se utilizarán, porque ello puede afectar el resultado de los detalles de diseño (Fig. 4.1.1.1.a.).

La elección de un material, debe iniciarse en la etapa conceptual, en la cual se identifica una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales, a través de manuales, gráficas de propiedades de los mismos o tablas comparativas. En la etapa final de diseño en detalle, el diseño definitivo se realiza con base en los datos del material real que va a utilizarse, asimismo, puede ser aconsejable solicitar datos estadísticos que indiquen el intervalo de variación de las propiedades del material.<sup>[3]</sup>

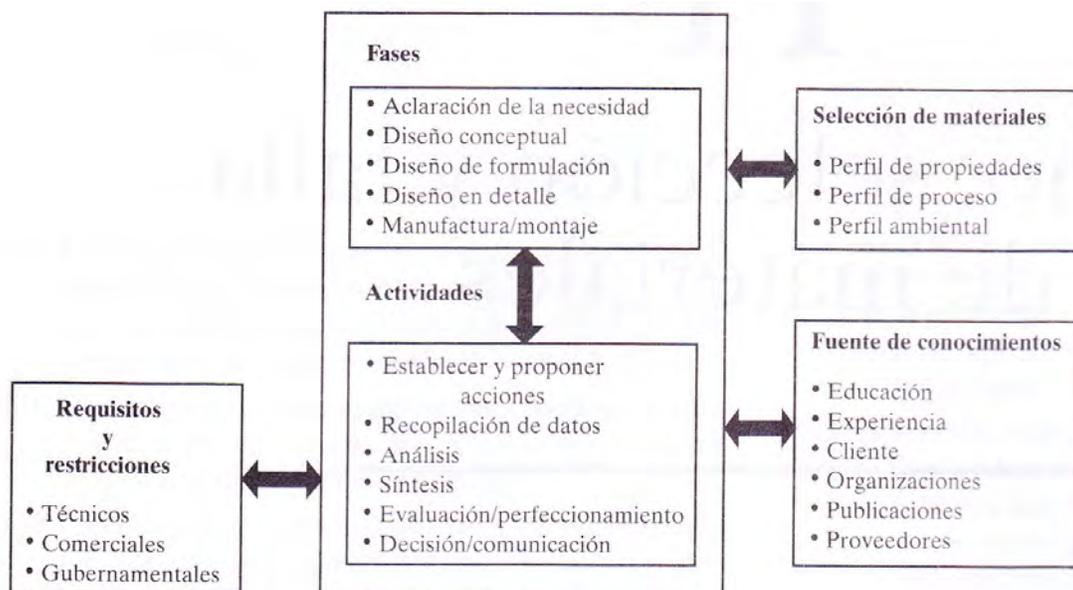


Fig. 4.1.1.1.a. Etapas o Fases del Procedimiento de Diseño y las Actividades Asociadas a Ellas.



Para poder realizar el diseño y análisis de la estructura, primero debe seleccionarse la *Geometría del Perfil Estructural* que mejor se adecue a nuestras características y especificaciones de diseño, y cumpla los requerimientos de efectividad y diversos factores, como: bajo peso, resistente a la flexión, funcionalidad mecánica, características físicas internas, procesamiento y fabricabilidad, duración de los componentes, costos y disponibilidad, entre otras propiedades; por lo cual, haremos uso de los *Índices de Funcionalidad o Eficiencia (o Rendimiento) de los Materiales*, antes de seleccionar el material más óptimo para su utilización.

Los *índices de funcionalidad*, son la relación que se presenta en un componente respecto de la carga a soportar, con relación a su propio peso. La forma en que se aplique dicha carga, hará variar el índice de funcionalidad. Un componente se proyecta para desempeñar funciones específicas (requisitos funcionales) con una geometría especificada (requisitos geométricos) en cuanto a tamaño y forma, en razón de restricciones de espacio. El análisis de la estructura, debe realizarse considerando a cualquier punto o elemento de ésta, como una viga apoyada en cualesquiera dos puntos sobre la cual se le aplique una carga en el centro.<sup>[4]</sup>

Para determinar los *Índices de Funcionalidad o Factores de Maximización para el Diseño de la Estructura*, tenemos que considerar los siguientes parámetros: En la *Resistencia a la Flexión* requerimos del *Esfuerzo de Flexión o Máximo* ( $\sigma_{y/máx.} = Mc/I$ ) y en la *Rigidez a la Flexión* requerimos de la *Rigidez Mínima aceptable del Producto EI (Módulo de Rigidez)*, así como el *Perfil de la Sección Transversal de la Tubería* a emplear, como se muestra a continuación:<sup>[4]</sup>

#### || *Índice de Funcionalidad para un Tubo Circular Hueco.*

$P$  = Carga Puntual Aplicada [N]

$m$  = Masa [kg]

$V$  = Volumen [ $m^3$ ]

$L$  = Longitud [m]

$\phi_e$  = Diámetro Exterior [mm]

$\phi_i$  = Diámetro Interior [mm]

$I$  = Momento de Inercia [ $m^4$ ]

$\rho$  = Densidad [ $kg/m^3$ ]

$\sigma_{yp}$  = Esfuerzo de Cedencia o Fluencia [MPa]

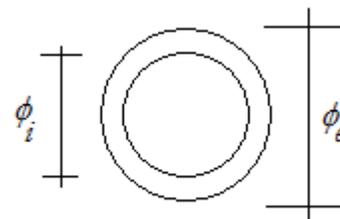
$E$  = Módulo de Young o Módulo Elástico [ $N/m^2$ ]

$\delta$  = Deflexión [l]

$M$  = Momento Flexionante [N-m]

$c$  = Distancia del eje neutral a la fibra Máxima (en la tubería es el radio exterior) [m]

$S$  = Módulo de Sección Elástico [ $m^3$ ]



Para determinar el *Factor de Maximización para el Diseño a la Resistencia a la Flexión* para la Geometría del Perfil Estructural establecido, tenemos que considerar la obtención del *Índice de Funcionalidad para el Peso*, entonces tenemos:



$$m = V\rho = \frac{\pi}{4}(\phi_e^2 - \phi_i^2)L\rho \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.1.)$$

Por otra parte, el *Momento Flexionante* se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$M = \frac{PL}{2} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.2.)$$

El *Esfuerzo de Fluencia*, se define como:

$$\sigma_y = \frac{M}{S} = \frac{M}{I/c} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.3.)$$

Para obtener el *Módulo de Sección Elástico S*, tenemos:

$$c = \frac{\phi_e}{2} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.4.)$$

El *Momento de Inercia* para un Tubo:

$$I = \frac{\pi}{64}(\phi_e^4 - \phi_i^4) \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.5.)$$

Sustituyendo 4.1.1.1.a.2., 4.1.1.1.a.4. y 4.1.1.1.a.5. en 4.1.1.1.a.3., tenemos:

$$\sigma_y = \frac{\frac{PL}{2}}{\left[ \frac{\pi}{64}(\phi_e^4 - \phi_i^4) \frac{2}{\phi_e} \right]} = \frac{\frac{PL}{2}}{\left[ \frac{\pi}{32} \left( \phi_e^3 - \frac{\phi_i^4}{\phi_e} \right) \right]} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.6.)$$

Suponiendo que  $\phi_i$  es la variable que se adapte a la solución del problema, tenemos:

$$\left( \phi_e^3 - \frac{\phi_i^4}{\phi_e} \right) = \frac{\frac{PL}{2}}{\left( \frac{\pi}{32} \sigma_y \right)} \Rightarrow (\phi_e^4 - \phi_i^4) = \frac{\phi_e}{\frac{\pi}{32} \sigma_y} \frac{PL}{2}$$



$$\phi_i^4 = \phi_e^4 - \frac{\phi_e PL}{\frac{\pi}{16}\sigma_y} \Rightarrow \phi_i = \left[ \phi_e^4 - \frac{\phi_e PL}{\frac{\pi}{16}\sigma_y} \right]^{\frac{1}{4}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.7.)$$

Sustituyendo 4.1.1.1.a.7. en 4.1.1.1.a.1., tenemos:

$$m = \frac{\pi}{4} \left[ \phi_e^2 - \left( \left[ \phi_e^4 - \frac{\phi_e PL}{\frac{\pi}{16}\sigma_y} \right]^{\frac{1}{4}} \right)^2 \right] L\rho \Rightarrow m = \frac{\pi}{4} \left[ \phi_e^2 - \left[ \phi_e^4 - \frac{\phi_e PL}{\frac{\pi}{16}\sigma_y} \right]^{\frac{1}{2}} \right] L\rho$$

$$m = \frac{\pi}{4} \phi_e^2 - \left[ \phi_e^4 - \frac{\phi_e PL}{\left( \frac{\pi}{16} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{L\rho}{\sqrt{\sigma_y}} \Rightarrow m = \left[ \frac{\pi}{4} \phi_e^2 - \left[ \phi_e^4 L^2 - \frac{\phi_e PL^3}{\left( \frac{\pi}{16} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \right] \left[ \frac{\rho}{\sqrt{\sigma_y}} \right] \quad (4.1.1.1.a.8.)$$

Por lo tanto, para un *Tubo con Perfil Circular*, el **Índice de Funcionalidad para la Resistencia a la Flexión**, es:

$$\therefore IF^{-1} = \frac{\sqrt{\sigma_y}}{\rho} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.a.9.)$$

Considerando el mismo caso, para determinar el **Factor de Maximización para el Diseño a la Rigidez a la Fluencia** para la Geometría del Perfil Estructural establecido, obteniendo el **Índice de Funcionalidad para el Peso**, tenemos:

$$m = V\rho = \frac{\pi}{4} (\phi_e^2 - \phi_i^2) L\rho \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.b.1.)$$

Por otra parte, la *Deflexión* se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{P \left( \frac{L}{2} \right)^3}{3EI} \quad \dots\dots\dots (4.1.1.1.b.2.)$$



El *Momento de Inercia* para un Tubo:

$$I = \frac{\pi}{64} (\phi_e^4 - \phi_i^4) \dots\dots\dots (4.1.1.1.b.3.)$$

Sustituyendo 4.1.1.1.b.3. en 4.1.1.1.b.2., tenemos:

$$\delta = \frac{P \left( \frac{L}{2} \right)^3}{3E \left[ \frac{\pi}{64} (\phi_e^4 - \phi_i^4) \right]} \dots\dots\dots (4.1.1.1.b.4.)$$

Despejando a  $\phi_i$  como variable probable que se adapte a la solución del problema, tenemos:

$$\begin{aligned} (\phi_e^4 - \phi_i^4) &= \frac{P \left( \frac{L}{2} \right)^3}{3E \left( \frac{\pi}{64} \right) \delta} \\ \phi_i^4 &= \phi_e^4 - \frac{P \left( \frac{L}{2} \right)^3}{\left( \frac{3\pi}{64} \right) E \delta} \Rightarrow \phi_i = \left[ \phi_e^4 - \frac{P(L)^3}{\frac{3\pi}{8} E \delta} \right]^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots (4.1.1.1.b.5.) \end{aligned}$$

Sustituyendo 4.1.1.1.b.5. en 4.1.1.1.b.1.

$$\begin{aligned} m &= \frac{\pi}{4} \left[ \phi_e^2 - \left( \left[ \phi_e^4 - \frac{P(L)^3}{\frac{3\pi}{8} E \delta} \right]^{\frac{1}{4}} \right)^2 \right] L \rho \Rightarrow m = \frac{\pi}{4} \left[ \phi_e^2 - \left[ \phi_e^4 - \frac{P(L)^3}{\frac{3\pi}{8} E \delta} \right]^{\frac{1}{2}} \right] L \rho \\ m &= \frac{\pi}{4} \left[ \frac{P(L)^3}{\frac{3\pi}{8} E \delta} \right]^{\frac{1}{2}} L \rho \Rightarrow m = \left[ \frac{\pi}{4} \left( \frac{P}{3\pi/8} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \left[ \left( \frac{L^3}{\delta} \right)^{\frac{1}{2}} L \right] \left[ \frac{\rho}{\sqrt{E}} \right] \dots\dots\dots (4.1.1.1.b.6.) \end{aligned}$$



Por lo tanto, para un *Tubo con Perfil Circular*, el **Índice de Funcionalidad para la Rigidez a la Flexión**, es:

$$\therefore IF^{-1} = \frac{\sqrt{E}}{\rho} \dots\dots\dots (4.1.1.1.b.7.)$$

Considerando los valores promedio del Modulo Elástico, el Esfuerzo de Fluencia y la Densidad para un tubo de Acero, con un contenido mínimo de carbono al 0.18%, tenemos como datos:

- E = 205 [GPa]
- $\sigma_y = 370$  [MPa]
- $\rho = 7.86$  [kg/m<sup>3</sup>]

Al sustituir estos valores en las ecuaciones anteriores, los índices de funcionalidad para esta geometría, muestran los factores de maximización de diseño para la *Resistencia y Rigidez a la Flexión*, como se muestra:

$$IF^{-1} = \frac{\sqrt{370E6}}{7.86} = 2447.25 \quad \text{Resistencia a la Flexión.}$$

$$IF^{-1} = \frac{\sqrt{205E9}}{7.86} = 57604.23 \quad \text{Rigidez a la Flexión.}$$

Una vez determinado el *Índice de Funcionalidad para el Perfil Geométrico Circular*, se procede a determinar que tipo de material resulta ser el más apropiado, de acuerdo a las familias de materiales óptimos presentados en las gráficas de Ashby para dichos índices de funcionalidad. Los diagramas de Ashby son muy útiles en la etapa conceptual del diseño, porque muestran las clases generales de materiales que se pueden utilizar para una aplicación determinada, que para nuestro caso, es la selección del material más óptimo en el diseño de la estructura del vehículo FSAE.

Considerando las propiedades del índice de funcionalidad dentro de las gráficas de Ashby, las familias de materiales óptimos adecuados para el diseño, de acuerdo con la geometría estructural establecida con un perfil circular hueco que mejor se ajusta al diseño, el espectro de materiales mediante las restricciones y especificaciones del reglamento, se reduce a las siguientes opciones: Aceros al Carbono, Aceros al Níquel, Aceros al Molibdeno y Aceros al Níquel-Cromo-Molibdeno. [Apéndice: F]

De acuerdo a los resultados obtenidos a través de las gráficas de Ashby, el material más recomendable para el diseño de la estructura del vehículo FSAE, es el acero al carbono (Fig. 4.1.1.1.b.).

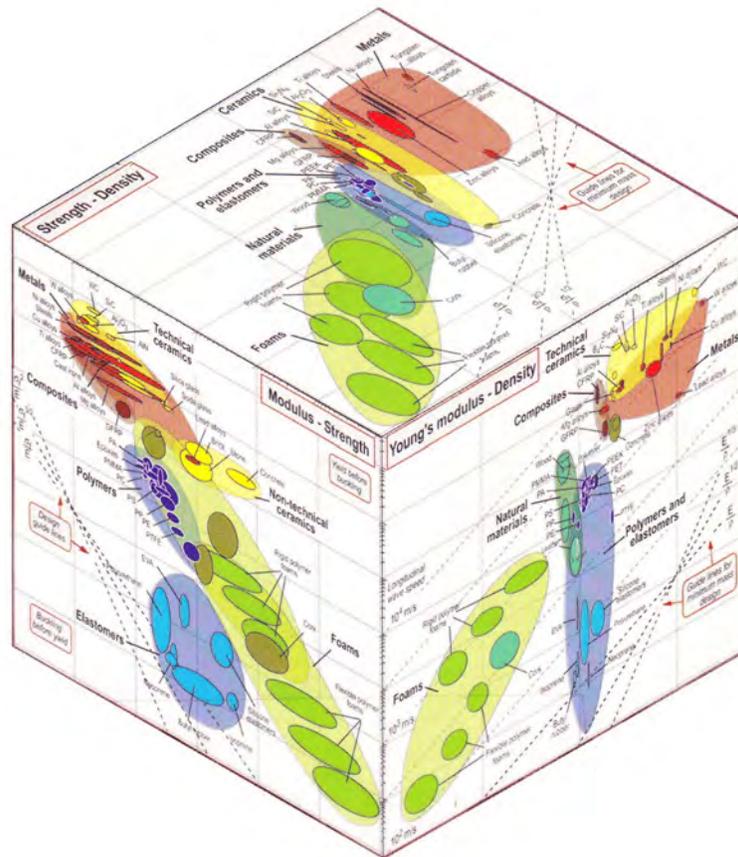


Fig. 4.1.1.1.b. Gráficas de Ashby: Modulo de Young-Densidad (Der.), Esfuerzo-Densidad (Arriba) y Modulo-Esfuerzo (Izq.).

La composición más común de acero al carbono encontrado en el mercado es un AISI 1018 (con 0.18% de carbono). Por lo que, para definir el tipo de tubería que usaremos en el criterio de diseño, en nuestro análisis, se realizará una gráfica comparativa del Módulo de Rigidez ( $EI$ ) con respecto a diferentes diámetros o calibres utilizados para el material seleccionado AISI 1018.

Para esto, se obtendrá el valor del Producto  $EI$  (*Módulo de Rigidez*) requerido para una tubería de acero, con un contenido mínimo de carbono al 0.18 %, con un diámetro exterior de 25.4 [mm] (1 [inch]) y un espesor de pared de 2.10 [mm] (0.083 [inches]). Entonces de los datos anteriores, tenemos:

$$I = \frac{\pi}{64} \left[ (0.0254)^4 - (0.0212)^4 \right] = 1.051E - 8 [m^4]$$

$$\therefore EI = (205E9)(1.051E - 8) [Pa] [m^4] = 2155.83 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$



Este producto nos indica, que si aumentamos el Momento de Inercia del material (esto se logra aumentando el diámetro o el espesor de la tubería), entonces, dicho material podrá soportar cargas mayores, ya que tendrá mayor rigidez.

En la siguiente gráfica, encontramos tres calibres diferentes con el mismo diámetro exterior manejado anteriormente de 25.4 [mm], observando que cumplen con ésta característica, por lo que pueden seleccionarse cualquiera de las tres opciones de calibres comparados (Fig. 4.1.1.1.c.).

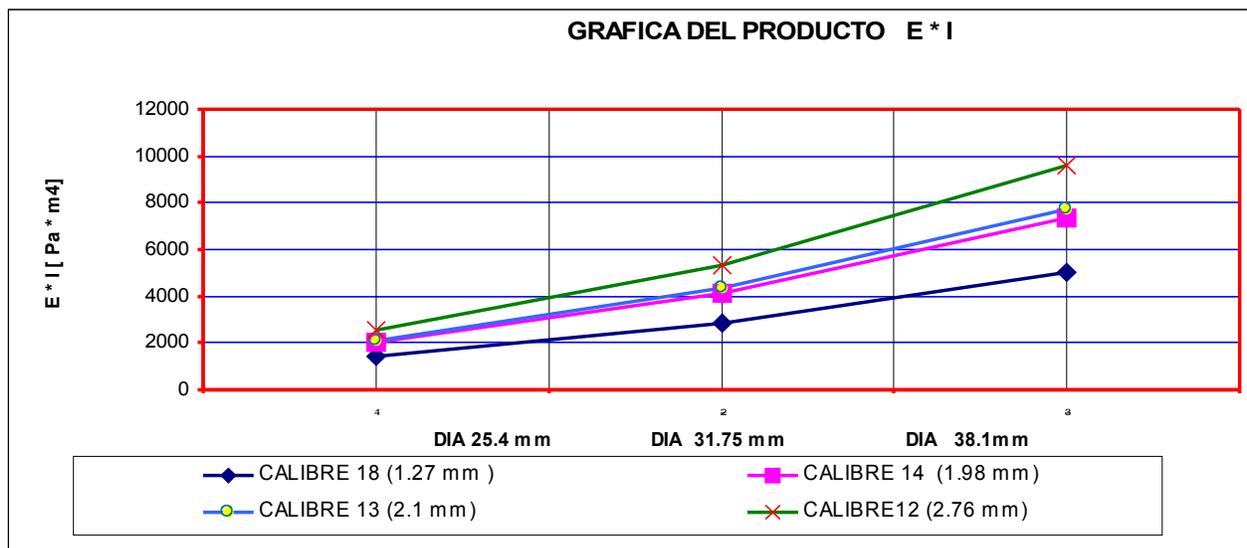


Fig. 4.1.1.1.c. Gráfica del Módulo de Rigidez (EI) vs. Diámetros de tubería AISI 1018.

En base a este resultado, se muestran las curvas de variación del producto (EI) para diferentes tuberías de material acero 1018 con diferentes diámetros y calibres, en donde lo que se hace variar es el Momento de Inercia para diversos calibres, manteniendo el módulo de Young constante. El valor mínimo aceptable para el Módulo de Rigidez EI es de 2103.2 [N/m<sup>2</sup>] (732,906.1 [lb/inches<sup>2</sup>]).<sup>[1 y Apéndice: G]</sup>

#### 4.1.1.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y PANELES DE PROTECCIÓN.

El Diseño de la Estructura, como ya se vio en el capítulo de Sistemas del Vehículo FSAE, debe incluir dos bastidores principales (**Main & Front Roll Hoops**) que están colocados de forma interpuesta, uno en la zona frontal del piloto y otro detrás del torso del mismo (Firewall); así como una zona de impacto en ambos lados de la estructura.



En base a los resultados y datos obtenidos en la sección anterior, el material seleccionado para la estructura del vehículo, será de acero estructural SAE 1018 de 1.0 [inch] de diámetro exterior, con las medidas y dimensiones específicas de espesor para cada elemento del armazón, señalado en los requerimientos estructurales de la Sección 2.4.2.

La mejor selección del material, se determina en relación a las propiedades y funcionalidad mecánica óptimas, al desempeño y al uso que pretenda emplearse, a las características internas, precio, entre otras variables. La elección de material depende de los recursos económicos con que se cuenten, así como de los procesos de soldadura que se empleen para la fabricación del sistema.

El primer elemento diseñado, fue la parte frontal del vehículo. En él se encuentran la zona frontal del Bulkhead y su zona de impacto, así como los resguardos de los sistemas de la suspensión delantera, el sistema de dirección, las líneas de frenos delanteros y bomba de frenos, así como elementos del sistema eléctrico, como son sensores, baterías, entre otros; además involucra el bastidor frontal (Front Roll Hoop) y los brazos del mismo, así como la protección del piso y sujeción de los sistemas aéreos (Fig. 4.1.1.2.a. y Fig. 4.1.1.2.b.).

La geometría de la parte frontal de la estructura, se diseñó con el objetivo de resguardar los elementos que permiten el óptimo funcionamiento del sistema de dirección, el sistema de suspensión y sistema eléctrico, entre otros; sin sacrificar la funcionalidad del vehículo y sin afectar la posición máxima de comodidad del piloto. Además, presenta un perfil frontal aerodinámico, que permite absorber la energía de deformación máxima permisible en caso de impacto y sobre todo cumpliendo con las restricciones del reglamento.

Así mismo, el vehículo debe mantener el centro de gravedad bajo, deben incluirse los sistemas de seguridad frontales y principalmente debe asegurarse la efectividad del diseño en general y definir la ubicación del sistema de suspensión delantero con la geometría seleccionada SLA (Short-Long Arm).

#### *Diseño de la Parte Frontal de la Estructura del Vehículo FSAE.*

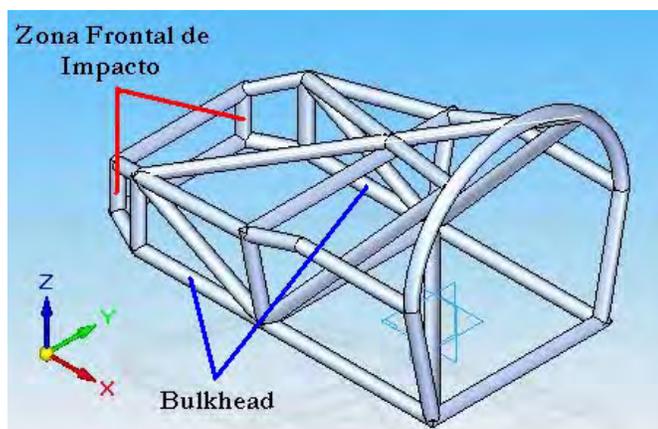


Fig. 4.1.1.2.a. Bulkhead y Zona Frontal de Impacto.

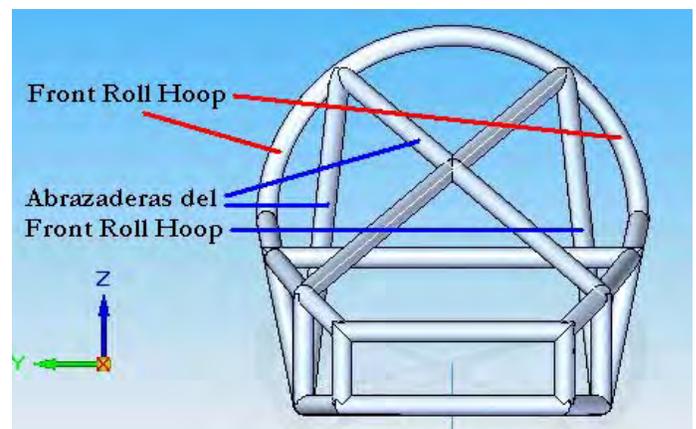


Fig. 4.1.1.2.b. Front Roll Hoop y Abrazaderas Frontales del mismo.



En segundo lugar, se diseñó la cabina o también conocida como habitáculo de mandos del piloto. En ella se encuentran colocados la zona de impacto lateral de la estructura, los resguardos y protecciones del piso y el bastidor principal (Main Roll Hoop) de la estructura (Fig. 4.1.1.2.c.).

Además en ella va colocado un panel que resguarda al piloto, éste es conocido como muro de fuego (Firewall), el cual protege al piloto de todos los sistemas de transmisión, fuerza motriz, líneas de frenos y de combustible en las que pueda haber fugas, se coloca el asiento y cabecera del piloto, así como los instrumentos de lectura y operación como son tacómetro, velocímetro, odómetro, medidores de temperatura, niveles de combustible, aceite, frenos y encendido del vehículo, así como el sistema que corta la corriente eléctrica del sistema de ignición del motor (KILL-SWITCH) en caso de emergencia.

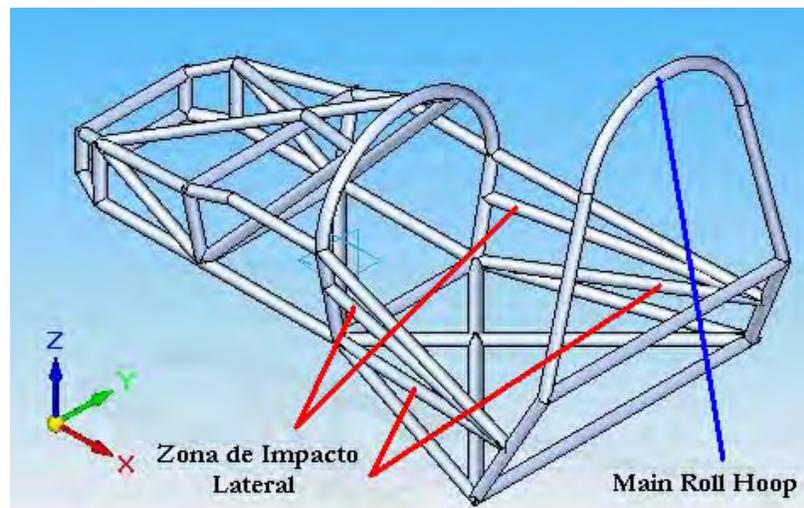


Fig. 4.1.1.2.c. Diseño de la Cabina del Vehículo FSAE.

La tercera parte que se diseñó, fue la zona trasera del vehículo. En ella se encuentran colocados los soportes donde van situados los sistemas de la suspensión trasera, el tren de transmisión, el montaje del motor, los sistemas y líneas de combustible, los sistemas de enfriamiento del motor, los sistemas de admisión de aire y escape de gases, líneas de freno traseras, los resguardos y protección del piso y elementos del sistema eléctrico como son luces de freno, entre otros componentes (Fig. 4.1.1.2.d.).

La geometría de la parte trasera de la estructura, se diseñó con un perfil aerodinámico, agradable a la vista en el aspecto estético, y sobre todo cumpliendo con la ubicación del centro de gravedad que fue diseñado en base a las restricciones del reglamento y a la altura máxima permisible, así como el centro de giro del vehículo, los resguardos del tren motriz y principalmente para asegurar la efectividad del diseño y también para la ubicación del sistema de suspensión trasera con la geometría seleccionada SLA (Short-Long Arm).

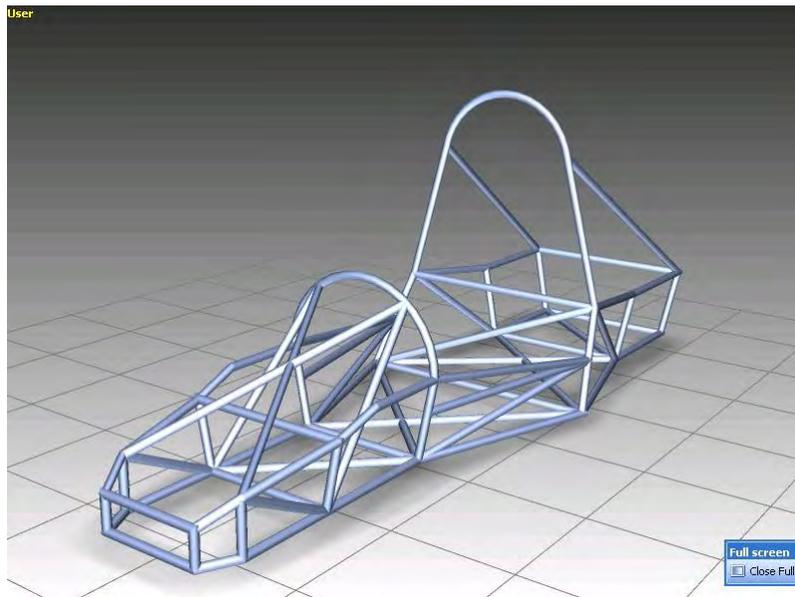


Fig. 4.1.1.2.d. Diseño Final de la Estructura Tubular de Acero del Vehículo FSAE.

Se diseñaron tres posibles estructuras, variando la posición de la zona de impacto lateral, colocando los brazos de los bastidores frontal y principal a diferentes ángulos y distancias de la estructura, así como el diseño, perfil y geometría de cada uno de los diseños de estructuras. Esto con el fin de definir y diseñar una estructura que cumpla nuestros objetivos de seguridad en pruebas de Análisis de Elementos Finitos y que cumpla los factores de seguridad que intervienen en caso de que exista un posible accidente (Fig. 4.1.1.2.e., Fig. 4.1.1.2.f. y Fig. 4.1.1.2.g.).

*Diseño de Diferentes Posibles Estructuras del Vehículo FSAE.*

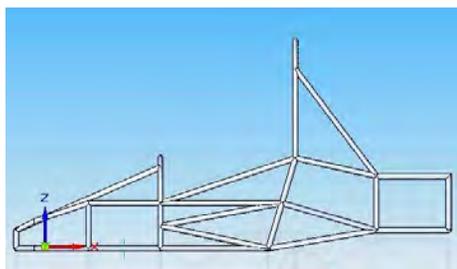


Fig. 4.1.1.2.e. Primer Propuesta.

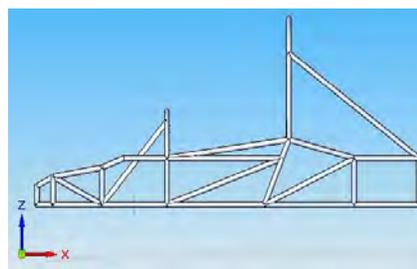


Fig. 4.1.1.2.f. Segunda Propuesta.

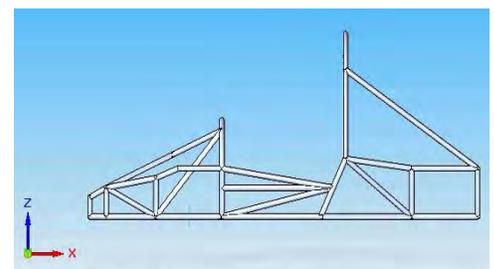


Fig. 4.1.1.2.g. Tercer Propuesta.



Adicionalmente, la estructura debe contar con 2 elementos que son añadidos para cubrir el habitáculo del piloto, estos son: *los paneles del piso y el muro de fuego (firewall)*. El material de estos dos elementos para las respectivas zonas de protección, debe ser de Acero ASTM A-36 y deberá tener un espesor mínimo de 0.508 [mm] para el muro de fuego y 1.27 [mm] para los paneles del piso, establecido por el reglamento.

Los paneles del piso, protegen la cabina, los elementos y dispositivos frontales del vehículo, de posibles impactos por debajo de la estructura causados por imperfecciones del terreno o por algún material que pueda incrustarse en ella y cause daños a los sistemas del vehículo; así como también, permiten la sujeción del sistema eléctrico, sensores, baterías, bombas de frenos, sistemas de dirección y, la protección y resguardo en general del piloto, además permite la colocación del asiento a la base del mismo y los cinturones de seguridad en la posición de cintura y pelvis.

El Muro de Fuego o también conocido como Firewall, protege al piloto de los elementos de transmisión, fuerza motriz y los sistemas de las líneas de combustible, esto es, ya que si el piloto se encuentra en una situación de emergencia, como lo es: el rompimiento o falla de algún sistema que caiga al terreno o se dispare hacia el frente del vehículo, el incendio o explosión de los sistemas de combustible, el derrame o fuga de las líneas de combustible, el impacto de un vehículo en la zona trasera o alguna otra situación que ponga en peligro al piloto; lo proteja esta pared o permita dar tiempo a la liberación del piloto del sistema de seguridad, además, en ella se colocan los cinturones de seguridad en la posición del hombro, el respaldo o cabecera del asiento y el botón (KILL SWITCH) que permite cortar la corriente eléctrica del encendido del vehículo y detener la activación y movimiento del motor en caso de emergencia (Fig. 4.1.1.2.h.).

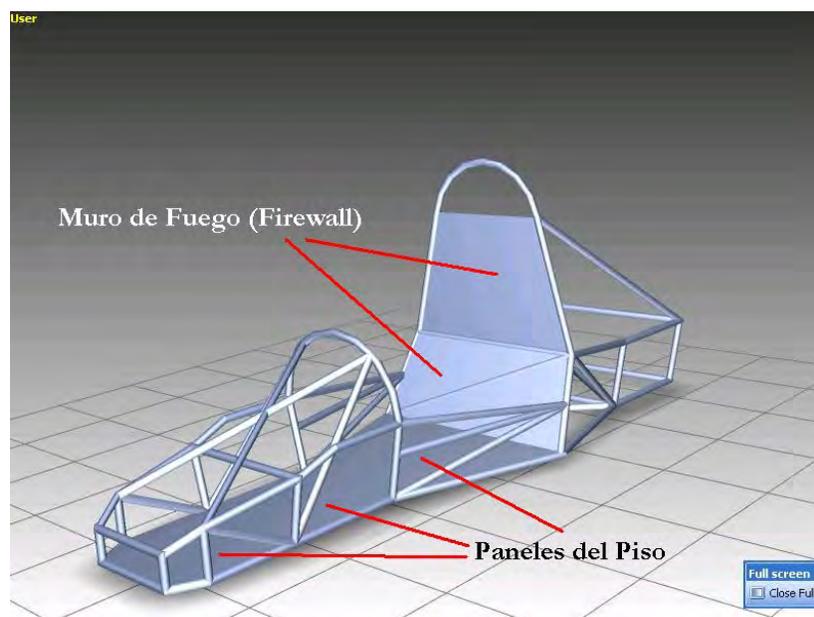


Fig. 4.1.1.2.h. Resguardos de la Cabina: Paneles del Piso y Firewall.



### 4.1.1.3. MODELADO GEOMÉTRICO.

Con los avances en la tecnología de las computadoras y de los sistemas CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering), FEA (Finite Element Analysis) y CFD (Computer Fluids Dynamics), pueden modelarse problemas complejos con relativa facilidad. En una computadora pueden emplearse varias configuraciones alternas antes de construir el primer prototipo. Una vez que los modelos son construidos o importados, los programas de diseño verifican el modelo y, es en ese momento cuando formulan y resuelven las ecuaciones de movimiento para simulaciones estáticas, cinemáticas, cuasiestáticas y dinámicas. Todo esto, implica que debemos modernizarnos empleando estos desarrollos tecnológicos para entender la teoría básica, las técnicas de modelado y los aspectos computacionales del método de elemento finito y de su propia programación.<sup>[5]</sup>

Existen muchos programas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y de Análisis de Elemento Finito (FEA) en el mercado, ya sea para fines académicos, científicos y/o profesionales, así como especializados para cada área de ingeniería en particular. Entre los más conocidos y utilizados están Hyper Mesh de la empresa Altair, ADAMS de Mechanical Dynamics Inc., Elysium de CADporter, las aplicaciones de CATIA y Pro/ENGINEER utilizados por el Equipo Renault F1; ACIS, IDEAS, Solid Edge, Parasolid, Mechanical Desktop, Solid Works, Unigraphics de EDS con gran éxito, Nastran, ALGOR, STAR-CD de Adapco Group, que permite modelar turbulencia, combustión, radiación y multifases físicas de flujo compresible e incompresible; entre otros y los propios programas de industrias automotrices, aeronáuticas y espaciales como GM, Ford, Volkswagen y EZ-Aero.

El Método de Análisis de Elementos Finitos (FEA: Finite Element Analysis), ha llegado a ser una herramienta poderosa en la solución numérica de un amplio rango de problemas de ingeniería. Las aplicaciones van desde el análisis por deformación y esfuerzo de automóviles, aeronaves, edificios y estructuras de puentes hasta el análisis de los campos del flujo de calor, de fluidos, magnético, filtraciones y otros problemas de flujo.<sup>[6]</sup>

El FEA está basado en el FEM (Finite Element Method), el cuál, es un método matemático para resolver ecuaciones diferenciales parciales ordinarias por medio de un esquema de interpolación polinomial. Dicho de otra forma, el FEM evalúa la información de los nodos de manera discreta a través de métodos numéricos por medio de un sistema de ecuaciones simultáneas o de un número de curvas polinomiales para seguir la forma compleja de la ecuación diferencial de la curva. Para llevar a cabo esto, es necesario aplicar el Principio de Superposición, es decir, calcular las ecuaciones de forma finita y en un sistema cerrado, de acuerdo al número de variables involucradas del modelo. Por ejemplo, el análisis en un proceso de ensamble, cuando se consideran debidamente las cargas y restricciones, da lugar a un conjunto de ecuaciones o modelos matemáticos. La solución de esas ecuaciones nos muestra el comportamiento aproximado del fenómeno (continuo) o sistema de estudio.<sup>[4]</sup>



La construcción del Modelo de Elementos Finitos, puede llevarse a cabo de forma unidimensional, bidimensional o tridimensional. La secuencia de aplicación es semejante para cada caso. Los puntos donde se encuentran los vértices de los triángulos se llaman **nodos** y cada triángulo formado por tres nodos y tres lados se llama **elemento**. Los elementos llenan toda la región excepto una pequeña región en la frontera. Esta región no cubierta existe en fronteras curvas y puede reducirse escogiendo elementos más pequeños o elementos con fronteras curvas. La idea del método del elemento finito, es resolver en forma aproximada el problema continuo y, ésta región no cubierta, contribuye en alguna medida a esa aproximación.<sup>[6]</sup>

En este proceso, el método de análisis involucra una región compleja de elementos que definen un continuo (elemento de geometría cerrada), el cual se discretiza en formas geométricas simples llamadas elementos finitos. Las propiedades del material y las relaciones gobernantes, son consideradas sobre esos elementos y expresadas en términos de valores desconocidos en los bordes del elemento (Fig. 4.1.1.3.).

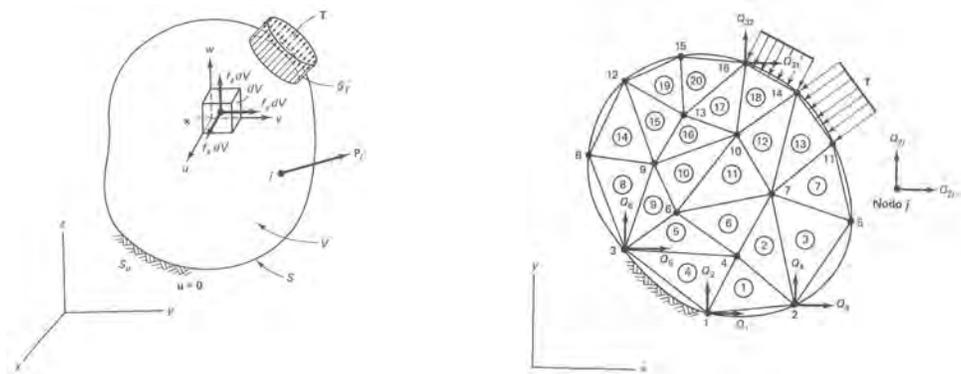


Fig. 4.1.1.3. Condiciones de Frontera y Construcción de un Modelo de Elementos Finitos (Discretización).

La utilización de un software o programa de diseño, que analice las fuerzas y cargas que son generadas debido a una deformación del material por medio de tensión, compresión, torsión, entre otras fuerzas; permite visualizar cuales son los resultados y comportamientos de la aplicación de esa fuerza en el elemento en estudio y visualizar cuales serían los posibles puntos en los que pueda sufrir deformación, daño o ruptura el material.

Es decir, el objetivo principal del estudio del Método de un Análisis de Elementos Finitos, que en nuestro caso es la estructura del vehículo; es aplicar diferentes cargas en puntos críticos del armazón descritas por el manual y reglamento vigente en las zonas más vulnerables de la estructura (zona de impacto frontal y lateral de la estructura), con el fin de conocer cuál es la zona elástica, plástica y de ruptura de la estructura en base al tipo de material (Isotrópico u Ortotrópico), al módulo elástico del material, al esfuerzo de von Mises, al coeficiente de dilatación térmica, al módulo elástico a cortante, entre otras variables de densidad y propiedades lineales, no lineales, térmicas, de flujo del fluido y electroestáticas. Esto, con el fin de interpretar el comportamiento de los modelos matemáticos y de los resultados físicos, matemáticos, gráficos y visuales con el diseño propio del sistema y verificar si es factible el diseño, o tiene que modificarse o rediseñarse (ingeniería inversa) para mejorar el método de análisis y los resultados.



#### 4.1.1.3.1. PRE-PROCESAMIENTO Y POST-PROCESAMIENTO.

El Análisis por Elementos Finitos, implica tres etapas de actividad: el pre-procesamiento, el procesamiento y el post-procesamiento.<sup>[6]</sup>

La etapa de **pre-procesamiento**, implica la preparación de datos, como las coordenadas nodales, la conectividad, las condiciones de frontera y la información sobre cargas y material.

La etapa de **procesamiento**, implica la generación y la modificación de la rigidez, así como la solución de ecuaciones que resulta en la evaluación de las variables nodales. Otras cantidades relacionadas como los gradientes o los esfuerzos, pueden evaluarse en esta etapa.

La etapa de **post-procesamiento**, trata de la presentación de resultados. En general, en esta etapa se calculan y muestran la configuración deformada, las formas nodales, la temperatura y la distribución de esfuerzos.

Un Análisis Completo por Elementos Finitos, es una Interacción Lógica de las tres Etapas del Procesamiento. La preparación de los datos y su post-procesamiento, necesitan de un esfuerzo considerable si todos los datos van a ser manejados manualmente. Lo tedioso del manejo de los datos y la posibilidad de incurrir en errores al incrementarse el número de elementos, son factores desalentadores para el análisis del elemento finito.

#### 4.1.1.4. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA POR ELEMENTOS FINITOS.

El programa empleado para llevar a cabo el Método de Análisis de Elementos Finitos de la estructura, fue ALGOR V19. Es un programa especializado de Diseño y de Análisis de Elemento Finito (FEA), además de ser un software muy versátil, completo, amigable en su uso, aplicación, funciones y herramientas y con resultados mucho más aproximados al comportamiento real del fenómeno o elemento en estudio; cuenta con un medio multimedia de animación para observar la deformación virtual que presenta el elemento.

##### **Programas de Diseño (CAD), Análisis (FEA) y Visualización (VR) empleados:**

- Software de Diseño (CAD): Solid Edge V19 y Unigraphics NX 2.0
- Software de Visualización (Realidad Virtual): Deep Exploration 5.0, Amira 3.1 SGI y Ve3D 1.5.2
- Software de Diseño y Análisis de Elemento Finito (FEA): ALGOR V19



#### 4.1.1.4.1. ZONA FRONTAL DE IMPACTO.

##### || **Proceso de Análisis de la Estructura mediante el Método de Elementos Finitos.**

**Etapa 1.-** Se lleva a cabo la transferencia de datos del modelo geométrico con extensión \*.iges, \*.par, \*.asm o \*.dwg del(os) programa(s) de diseño CAD utilizado(s), para después exportarse al programa de elementos finitos (FEA) en su formato de ejecución \*.esx y \*.asd. Una vez cargada la pieza o elemento a analizar, se establecen y colocan las restricciones y condiciones en la construcción del tipo, forma y tamaño de Malla, así como generación de la misma y obtención de elementos para el análisis de los puntos críticos en las zonas de impacto de la estructura (Fig. 4.1.1.4.1.a.).

##### || **Variables y Restricciones consideradas para llevar a cabo el Análisis de Elemento Finito.**

- Material: Acero Estructural SAE 1018
- Diámetro Exterior: 25.4 [mm] (1 [inch])
- Calibre: 16 ( $t = 1.65$  [mm])
- Módulo de Elasticidad del Acero:  $E = 205$  [GPa]
- Módulo Elástico a Cortante:  $E\tau = 80$  [GPa]
- Esfuerzo de Cedencia:  $\sigma_y = 370$  [MPa]
- Momento de Inercia:  $I = 1.124 \times 10^{-8}$  [m<sup>4</sup>]
- Densidad:  $\rho = 7860.0$  [kg/m<sup>3</sup>]
- Fuerza o Carga Máxima Aplicada a la Estructura: 150000 [N] = 15290.52 [kg<sub>f</sub>]  $\approx 15$  [Ton]
- Peso Aproximado de la Estructura: 132 [kg] (60 [lb])
- Proceso de Soldadura Empleado: Arco Eléctrico y/o MIG

##### || **Resultados y Características del tipo y forma de malla generada, que se empleará para el análisis.**

- Tipo de Elemento: Estructural.
- Forma de la Malla: Tetraedros.
- Operación de Mallado: Malla Sólida.
- Tamaño Establecido de Malla: 0.5 [mm].
- Tamaño Final de la Malla: 0.678251 [mm].
- Número de Elementos Creados: 48754.

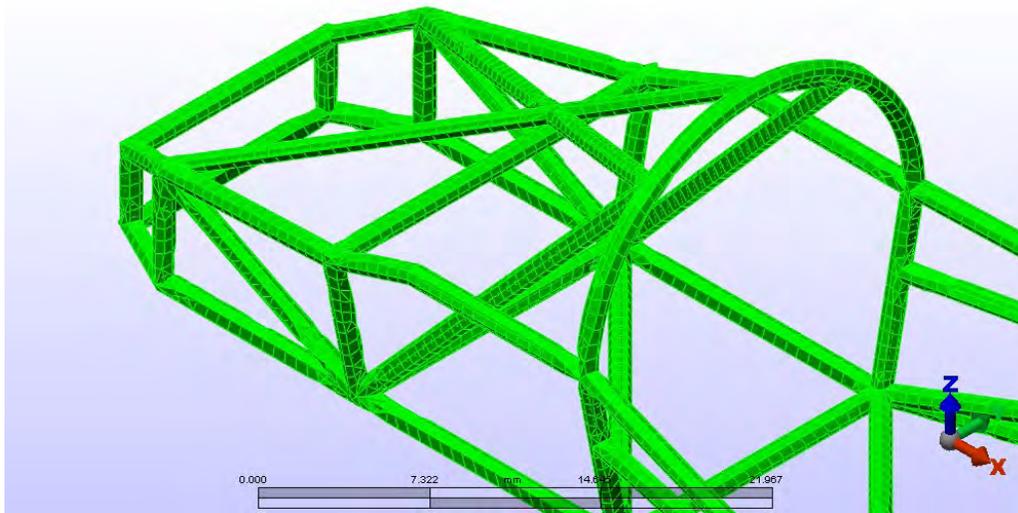


Fig. 4.1.1.4.1.a. Construcción y Generación de la Malla del Modelo de Elemento Finito de la Estructura en Programa ALGOR V19.

**Etapa 2.-** Introducción de variables, restricción de condiciones de frontera, selección del tipo de material, constantes, aceleración gravitacional, cargas aplicadas y dirección de aplicación de fuerzas para la zona frontal de impacto de la estructura (Fig. 4.1.1.4.1.b.).

#### ▮ Variables y Restricciones consideradas para el Análisis.

- Tipo de Análisis: Estructural (Tensión Estática con Modelos de Material Lineales).
- Condiciones de Frontera Nodal: 2 Puntos fijos de la Estructura para Aplicación de Carga Estática.
- Fuerzas o Cargas Nodales Aplicadas: 150 [kN] divididas en 2 Cargas Distribuidas de 75 [kN] en dirección de Zona de Impacto Frontal.
- Tipo de Elemento: Placa.
- Definición del Elemento: Modelo Isotrópico.
- Coeficiente de Torsión: 0.001
- Aceleración Gravitacional: 9.81 [m/s<sup>2</sup>].
- Factor de Carga: 1.0

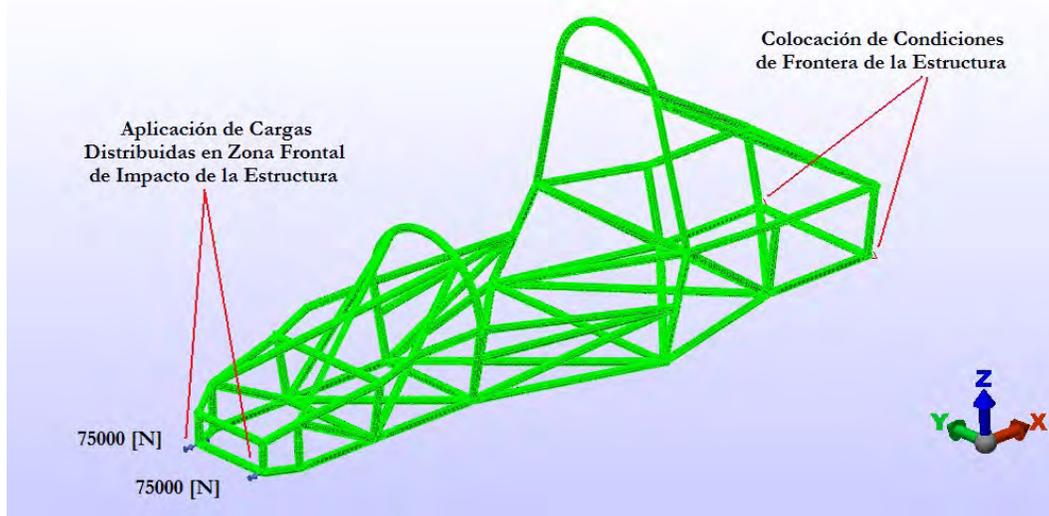


Fig. 4.1.1.4.1.b. Colocación de Restricciones, Variables, Límites de Frontera y Cargas de la Estructura para el Análisis (FEA).

**Etapa 3.-** Generación de resultados e interpretación física y matemática del análisis de elementos finitos de la estructura.

#### || Resultados del Análisis (FEA): Curvas de Nivel.

- **Magnitud Máxima de Desplazamiento: 13.40514 [mm].**
- Magnitud Máxima de Desplazamiento en el Eje X: **7.08197 [mm].**
- Magnitud Máxima de Desplazamiento en el Eje Y: **0.450345 [mm].**
- Magnitud Máxima de Desplazamiento en el Eje Z: **7.9904 [mm].**
- Máximo Desplazamiento Rotacional: **48.156 [°].**
- **Tensión de von Mises: 46977.08 [N/mm<sup>2</sup>] = 46.9771 [GPa].**
- Densidad de Energía de Deformación: **33001.88 [N/mm<sup>2</sup>].**

#### || Conclusiones del Análisis.

En los resultados del análisis de la estructura, se pretende obtener principalmente, cual es la *deformación máxima causada por una carga estática en la zona de impacto de la estructura y la falla producida por el material en base al esfuerzo o tensión de von Mises*. Estos resultados son interpretados matemática y físicamente, con el objetivo de conocer y determinar si el diseño de la estructura es factible y cumple con los valores máximos de seguridad requeridos para su funcionamiento, en base al material seleccionado.



La **deformación máxima** generada por una **carga estática de 150000[N]  $\approx$  15[Ton]** obtenida por medio del análisis para la **Zona Frontal de Impacto**, fue de **13.40514 [mm]**, que se descompone en sus tres respectivos ejes coordenados. La interpretación de este valor, nos arroja resultados óptimos en el diseño de la estructura, es decir, el **desplazamiento generado de 13.40514 [mm]** del frente de la estructura hacia la parte trasera de la misma, se encuentra dentro del **rango de 25[mm] establecido dentro del reglamento como máximo de desplazamiento**.

Además, estos valores pueden interpretarse junto con los resultados numéricos de la gráfica de colores, donde se establece que la zona crítica donde existe mucho más deformación del material, es en el primer bastidor frontal del vehículo aproximadamente, una deformación estable en la cabina y así sucesivamente un decremento de energía hasta el último bastidor final de la parte trasera.

Los resultados numéricos, muestran que en la zona de la cabina o habitáculo del piloto, se genera una deformación de entre **8.043084 [mm]** y **6.70257 [mm]**, esto quiere decir, que el valor aproximado de la deformación que recibiría la estructura en ésta zona, no excede la zona crítica del material (fluencia) y se encuentra en un valor medio (zona elástica), que es la parte principal que nos interesa de la estructura, ya que es donde se encuentra sentado el piloto (Fig. 4.1.1.4.1.c).

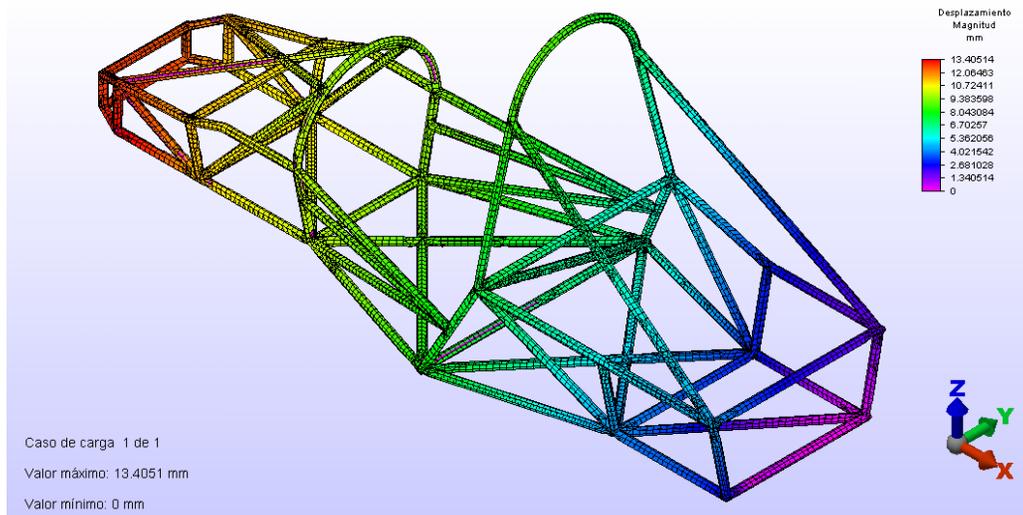


Fig. 4.1.1.4.1.c. Resultados del Desplazamiento Máximo de la Estructura (Malla y Gráfica de Colores).

Además, puede observarse la simulación del recorrido de la deformación, que presentaría la estructura en caso del impacto frontal. Estos valores pueden interpretarse junto con los resultados numéricos de la gráfica de colores, donde se establece que la zona crítica donde existe mucho más deformación del material, es en el primer bastidor frontal del vehículo aproximadamente, con mayor deformación debido al impacto, una deformación estable en la cabina y así sucesivamente un decremento de energía hasta el último bastidor final de la parte trasera (Fig. 4.1.1.4.1.d).

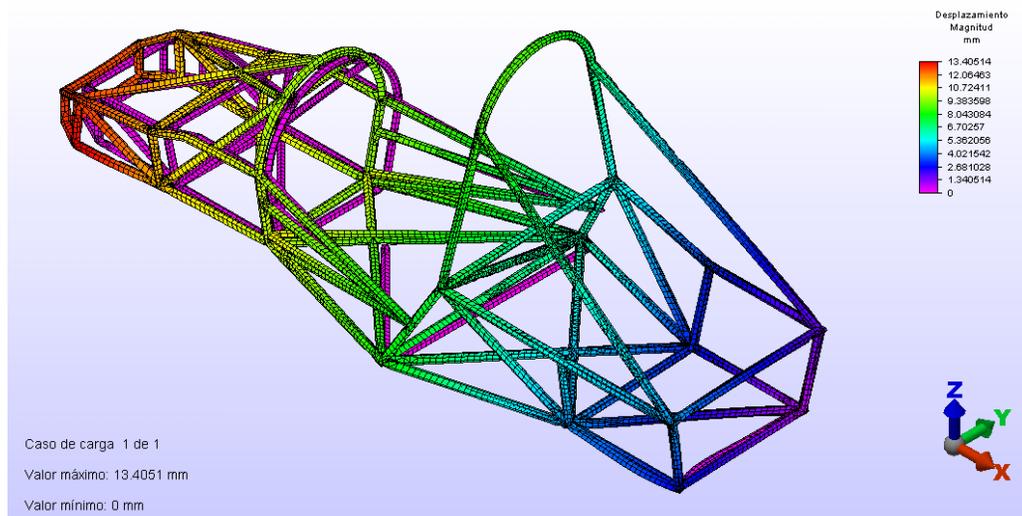


Fig. 4.1.1.4.1.d. Resultados del Desplazamiento Máximo de la Estructura (Deformación y Gráfica de Colores).

*Nota:* El análisis que se llevó a cabo para la estructura, es un **análisis estático** que permite aproximar, cual es el comportamiento que podría tener la estructura en un caso real de un impacto de ésta magnitud, pero, hay que tomar en cuenta otras variables para este análisis, como el peso total del vehículo (con sistemas) y el peso del piloto (promedio) y realizar otro análisis con estas variables.

Es importante hacer notar, que el análisis que se llevó a cabo, fue **dentro de la zona elástica del material**, lo que nos permite aseverar que el análisis es óptimo y la carga generada de 150000 [N] no llega a la zona plástica, pero es necesario realizar un segundo análisis hasta encontrar una carga que nos restrinja el punto en el cual, la deformación de la estructura ya no regrese a su zona elástica, es decir, ahora se encuentra **dentro de la zona plástica del material** y probablemente obtener y conocer en que valor llegaría a la **ruptura el material**.

Además, existe otro tipo de **análisis con carga dinámica** que debe realizarse, es decir, debe generarse una simulación de la deformación que pudiera tener el vehículo (peso total) en movimiento con los sistemas y realizar un análisis de los puntos críticos de la estructura, de los propios sistemas e interpretar los resultados de los puntos donde se concentra la mayor energía de impacto de la estructura y de los sistemas (principalmente el sistema de suspensión) donde sufre deformación. Esto permite conocer de igual forma, si los sistemas diseñados cumplen con las condiciones de esfuerzo máximas de trabajo y observar el comportamiento que tendrían en caso de falla o fractura.

El **máximo desplazamiento rotacional** de la estructura generado por la carga aplicada, es de **48.156 [°]** hacia la izquierda, este giro es provocado por el impacto de la carga en los 2 puntos frontales (no necesariamente simétricos) de la estructura y debido a la fijación de las condiciones de frontera, éste es un valor significativo en el resultado, ya que puede observarse la deformación lateral que tiene la estructura (Fig. 4.1.1.4.1.e.).

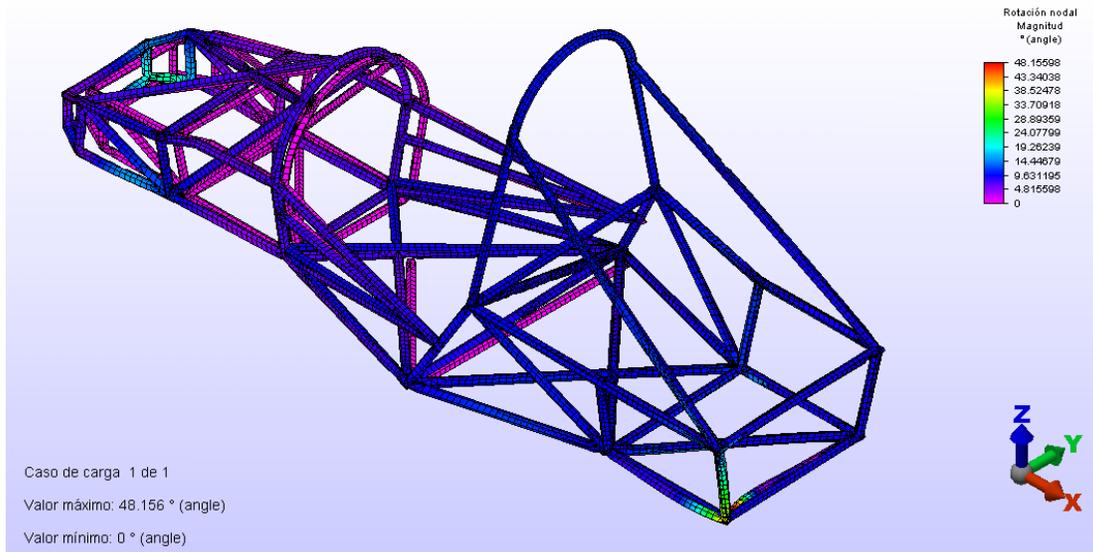


Fig. 4.1.1.4.1.e. Resultados del Desplazamiento Rotacional Máximo de la Estructura (Deformación y Gráfica de Colores).

El resultado obtenido del **Esfuerzo Máximo de Tensión de von Mises de 46.9771 [GPa]**, muestra que el material establecido (**Acero 1018**) para el análisis, se encuentra **por debajo de su Módulo Elástico (205 [GPa])**, lo que permite establecer junto con los resultados del valor del desplazamiento máximo de la estructura, que el análisis de elementos finitos, precisa y corrobora la confiabilidad del diseño de la pieza (estructura) y la factibilidad de fabricación, es decir, el diseño es óptimo para poder llevar a cabo la propuesta de diseño y la manufactura del vehículo (Fig. 4.1.1.4.1.f.).

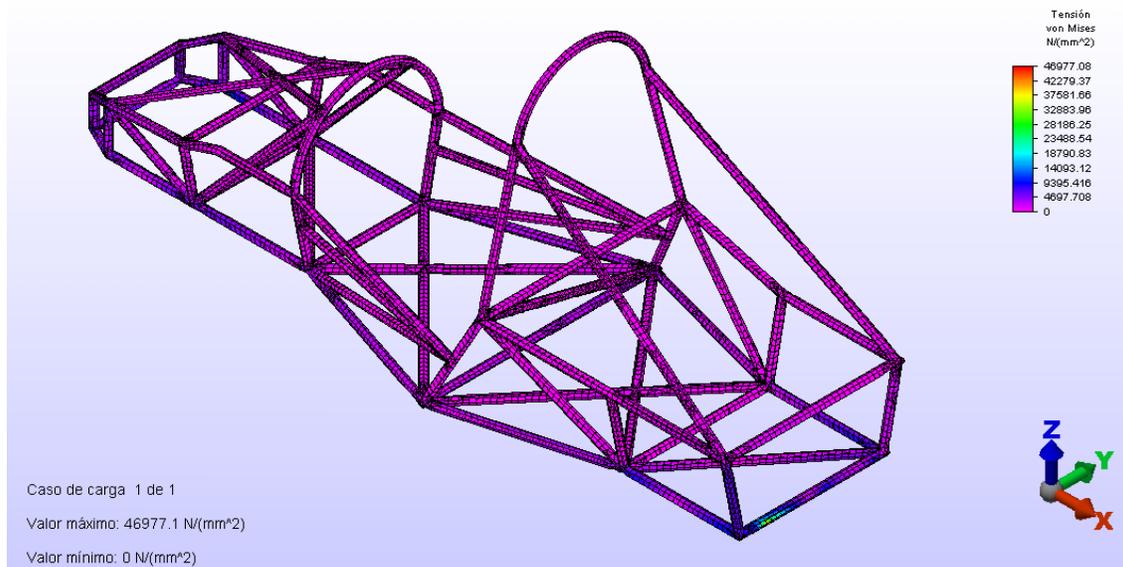


Fig. 4.1.1.4.1.f. Resultados de la Tensión Máxima de von Mises de la Estructura (Malla y Gráfica de Colores).



#### 4.1.1.4.2. ZONA LATERAL DE IMPACTO.

##### || **Proceso de Análisis de la Estructura mediante el Método de Elementos Finitos.**

**Etapa 1.-** Se lleva a cabo la transferencia de datos del modelo geométrico con extensión \*.iges, \*.par, \*.asm o \*.dwg del(os) programa(s) de diseño CAD utilizado(s), para después exportarse al programa de elementos finitos (FEA) en su formato de ejecución \*.esx y \*.asd. Una vez cargada la pieza o elemento a analizar, se establecen y colocan las restricciones y condiciones en la construcción del tipo, forma y tamaño de Malla, así como generación de la misma y obtención de elementos para el análisis de los puntos críticos en las zonas de impacto de la estructura (Fig. 4.1.1.4.2.a.).

##### || **Variables y Restricciones consideradas para llevar a cabo el Análisis de Elementos Finitos.**

- Material: Acero Estructural SAE 1018
- Diámetro Exterior: 25.4 [mm] (1 [inch])
- Calibre: 16 ( $t = 1.65$  [mm])
- Módulo de Elasticidad del Acero:  $E = 205$  [GPa]
- Módulo Elástico a Cortante:  $E\tau = 80$  [GPa]
- Esfuerzo de Cedencia:  $\sigma_y = 370$  [MPa]
- Momento de Inercia:  $I = 1.124 \times 10^{-8}$  [m<sup>4</sup>]
- Densidad:  $\rho = 7860.0$  [kg/m<sup>3</sup>]
- Fuerza o Carga Máxima Aplicada a la Estructura: 10000 [N] = 1019.368 [kg<sub>f</sub>]  $\approx 1$  [Ton]
- Peso Aproximado de la Estructura: 132 [kg] (60 [lb])
- Proceso de Soldadura Empleado: Arco Eléctrico y/o MIG

##### || **Resultados y Características del tipo y forma de malla generada, que se empleará para el análisis.**

- Tipo de Elemento: Estructural.
- Forma de la Malla: Tetraedros.
- Operación de Mallado: Malla Sólida.
- Tamaño Establecido de Malla: 0.5 [mm].
- Tamaño Final de la Malla: 0.678251 [mm].
- Número de Elementos Creados: 30016.

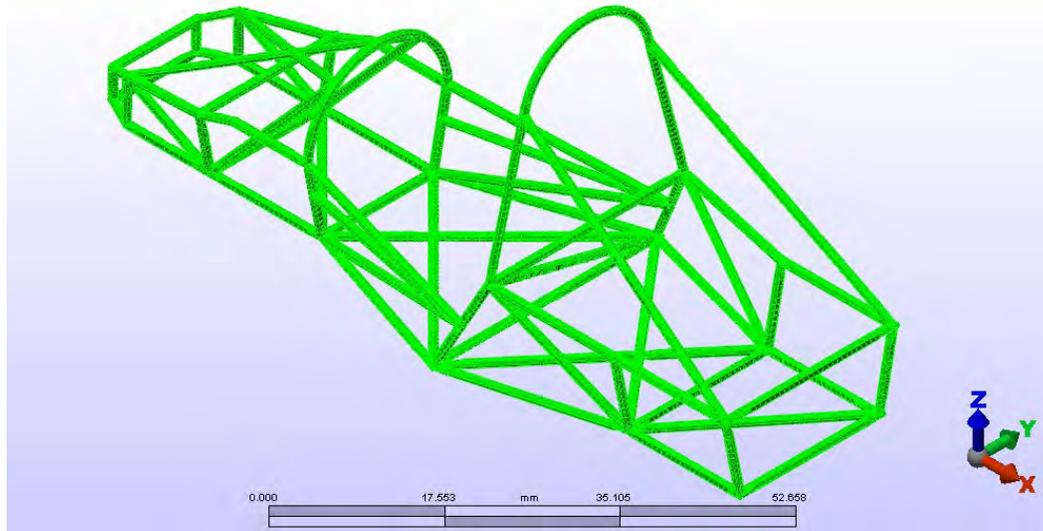


Fig. 4.1.1.4.2.a. Construcción y Generación de la Malla del Modelo de Elemento Finito de la Estructura en Programa ALGOR V19.

**Etapa 2.-** Introducción de variables, restricción de condiciones de frontera, selección del tipo de material, constantes, aceleración gravitacional, cargas aplicadas y dirección de aplicación de fuerzas para la zona lateral de impacto de la estructura.

#### ▮ Variables y Restricciones consideradas para el Análisis.

- Tipo de Análisis: Estructural (Tensión Estática con Modelos de Material Lineales).
- Condiciones de Frontera Nodal: 4 Puntos fijos de la Estructura para Aplicación de Carga Estática.
- Fuerzas o Cargas Nodales Aplicadas: 10 [kN] divididas en 8 Cargas Distribuidas de 1250 [N] en dirección de Zona de Impacto Lateral.
- Tipo de Elemento: Placa.
- Definición del Elemento: Modelo Isotrópico.
- Coeficiente de Torsión: 0.001
- Aceleración Gravitacional: 9.81 [m/s<sup>2</sup>].
- Factor de Carga: 1.0



**Etapa 3.-** Generación de resultados e interpretación física y matemática del análisis de elementos finitos de la estructura.

#### || Resultados del Análisis (FEA): Curvas de Nivel.

- **Magnitud Máxima de Desplazamiento: 11.21756 [mm].**
- Magnitud Máxima de Desplazamiento en el Eje X: **0.5576545 [mm].**
- Magnitud Máxima de Desplazamiento en el Eje Y: **10.6285 [mm].**
- Magnitud Máxima de Desplazamiento en el Eje Z: **7.773937 [mm].**
- Máximo Desplazamiento Rotacional: **22.48571 [°].**
- **Tensión de von Mises: 77567.54 [N/mm<sup>2</sup>] = 77.56754 [GPa].**
- Densidad de Energía de Deformación: **33173.31 [N/mm<sup>2</sup>].**

#### || Conclusiones del Análisis.

En los resultados del análisis de la estructura, se pretende obtener principalmente, cual es la *deformación máxima causada por una carga estática en la zona de impacto de la estructura y la falla producida por el material en base al esfuerzo o tensión de von Mises*. Estos resultados son interpretados matemática y físicamente, con el objetivo de conocer y determinar si el diseño de la estructura es factible y cumple con los valores máximos de seguridad requeridos para su funcionamiento, en base al material seleccionado.

La **deformación máxima** generada por una **carga estática de 10000[N]  $\approx$  1[Ton]** obtenida por medio del análisis para la **Zona Lateral de Impacto**, fue de **11.21756 [mm]**, que se descompone en sus tres respectivos ejes coordenados. La interpretación de este valor, nos arroja resultados óptimos en el diseño de la estructura, es decir, el **desplazamiento generado de 11.21756 [mm]** de la zona lateral izquierda de impacto de la estructura hacia la parte derecha de la misma, se encuentra dentro del **rango de 25[mm] establecido dentro del reglamento como máximo de desplazamiento**.

Además, estos valores pueden interpretarse junto con los resultados numéricos de la gráfica de colores, donde se establece que la zona crítica donde existe mucho más deformación del material, es en el primer bastidor lateral izquierdo del vehículo aproximadamente, una deformación estable en la cabina y así sucesivamente un decremento de energía hasta el último bastidor lateral derecho del mismo.

Los resultados numéricos, muestran que en la zona de la cabina o habitáculo del piloto, se genera una deformación de entre **6.730537 [mm]** y **5.608781 [mm]**, esto quiere decir, que el valor aproximado de la deformación que recibiría la estructura en ésta zona, no excede la zona crítica del material (fluencia) y se encuentra en un valor medio (zona elástica), que es la parte principal que nos interesa de la estructura, ya que es donde se encuentra sentado el piloto (Fig. 4.1.1.4.2.b.).

4. Visualización del Diseño Conceptual de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, a través de Técnicas y Herramientas Estereoscópicas dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.

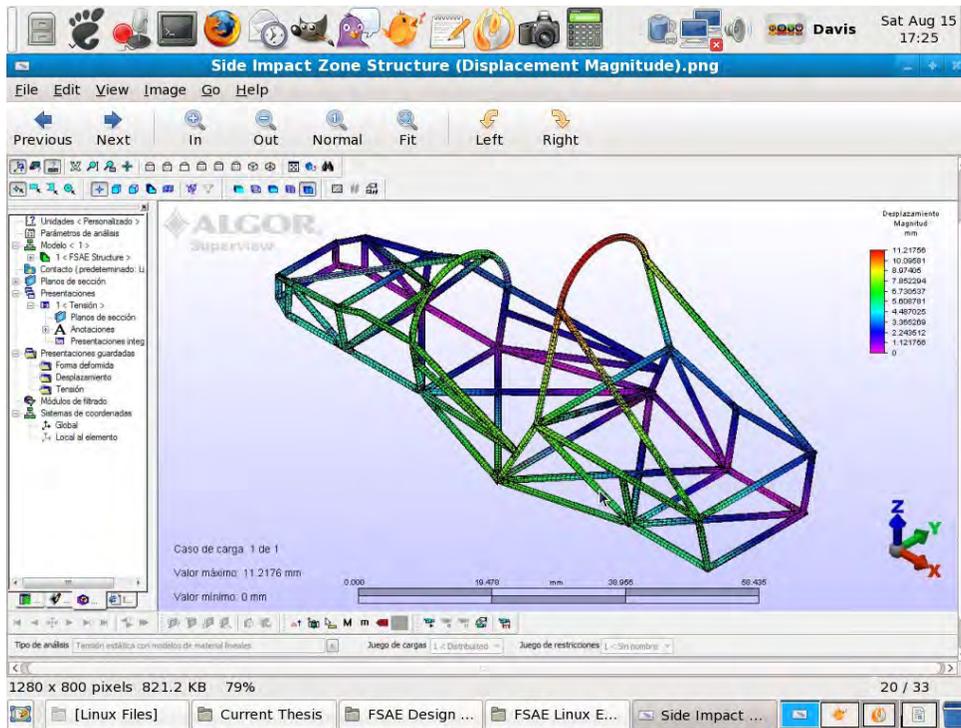


Fig. 4.1.1.4.2.b. Resultados del Desplazamiento Máximo de la Estructura (Malla y Gráfica de Colores).

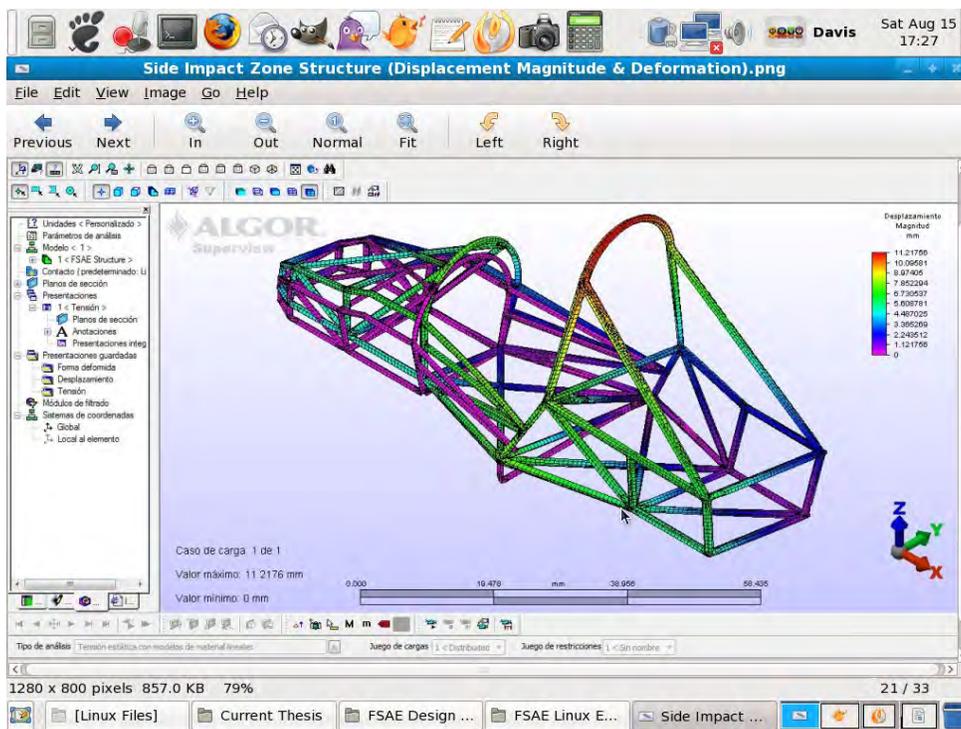


Fig. 4.1.1.4.2.c. Resultados del Desplazamiento Máximo de la Estructura (Deformación y Gráfica de Colores).



Además, puede observarse la simulación del recorrido de la deformación, que presentaría la estructura en caso del impacto lateral. Estos valores pueden interpretarse junto con los resultados numéricos de la gráfica de colores, donde se establece que la zona crítica donde existe mucho más deformación del material, es en la zona de impacto lateral izquierda del vehículo aproximadamente, con mayor deformación debido al impacto, una deformación estable en la cabina y así sucesivamente un decremento de energía hasta la zona de impacto lateral derecha del vehículo (Fig. 4.1.1.4.2.c.).

*Nota:* El análisis que se llevó a cabo para la estructura, es un **análisis estático** que permite aproximar, cual es el comportamiento que podría tener la estructura en un caso real de un impacto de ésta magnitud, pero, hay que tomar en cuenta otras variables para este análisis, como el peso total del vehículo (con sistemas) y el peso del piloto (promedio) y realizar otro análisis con estas variables.

Es importante hacer notar, que el análisis que se llevó a cabo, fue **dentro de la zona elástica del material**, lo que nos permite aseverar que el análisis es óptimo y la carga generada de 10000 [N] no llega a la zona plástica, pero es necesario realizar un segundo análisis hasta encontrar una carga que nos restrinja el punto en el cual, la deformación de la estructura ya no regrese a su zona elástica, es decir, ahora se encuentra **dentro de la zona plástica del material** y probablemente obtener y conocer en que valor llegaría a la **ruptura del material**.

Además, existe otro tipo de **análisis con carga dinámica** que debe realizarse, es decir, debe generarse una simulación de la deformación que pudiera tener el vehículo (peso total) en movimiento con los sistemas y realizar un análisis de los puntos críticos de la estructura, de los propios sistemas e interpretar los resultados de los puntos donde se concentra la mayor energía de impacto de la estructura y de los sistemas (principalmente el sistema de suspensión) donde sufre deformación. Esto permite conocer de igual forma, si los sistemas diseñados cumplen con las condiciones de esfuerzo máximas de trabajo y observar el comportamiento que tendrían en caso de falla o fractura.

El **máximo desplazamiento rotacional** de la estructura generado por la carga aplicada, es de **22.48571 [°]** hacia arriba y hacia la derecha, este giro es provocado por el impacto de la carga en los 8 puntos laterales (no necesariamente simétricos) de la estructura y debido a la fijación de las condiciones de frontera, éste es un valor significativo en el resultado, ya que puede observarse la deformación lateral que tiene la estructura (Fig. 4.1.1.4.2.d.).

El resultado obtenido del **Esfuerzo Máximo de Tensión de von Mises de 77.56754 [GPa]**, muestra que el material establecido (**Acero 1018**) para el análisis, se encuentra **por debajo de su Módulo Elástico (205 [GPa])**, lo que permite establecer junto con los resultados del valor del desplazamiento máximo de la estructura, que el análisis de elementos finitos, precisa y corrobora la confiabilidad del diseño de la pieza (estructura) y la factibilidad de fabricación, es decir, el diseño es óptimo para poder llevar a cabo la propuesta de diseño y la manufactura del vehículo (Fig. 4.1.1.4.2.e.).

4. Visualización del Diseño Conceptual de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, a través de Técnicas y Herramientas Estereoscópicas dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.

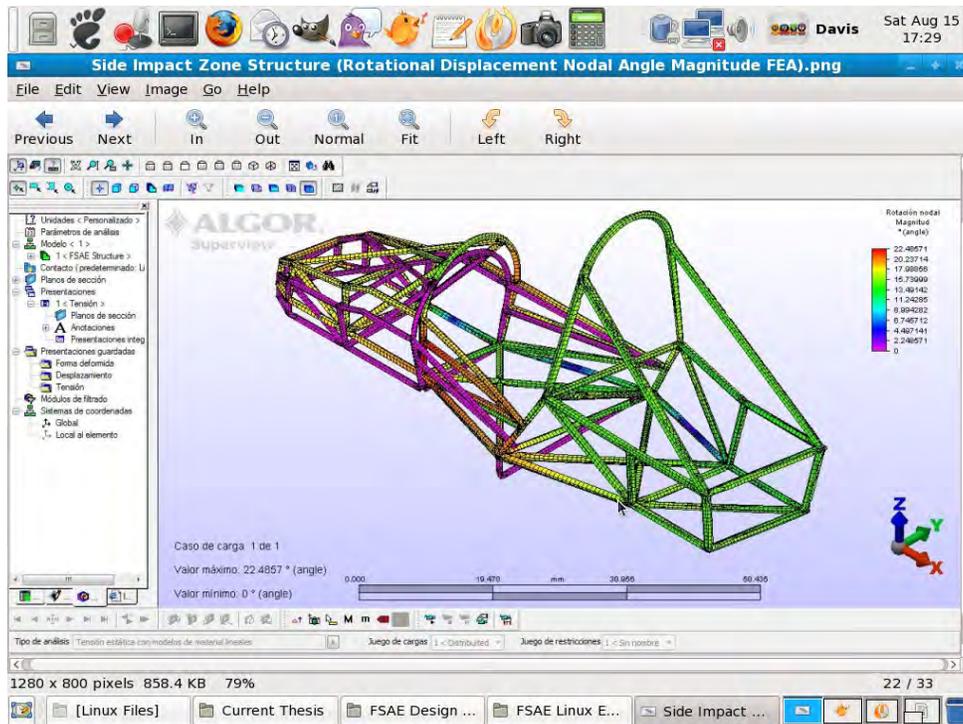


Fig. 4.1.1.4.2.d. Resultados del Desplazamiento Rotacional Máximo de la Estructura (Deformación y Gráfica de Colores).

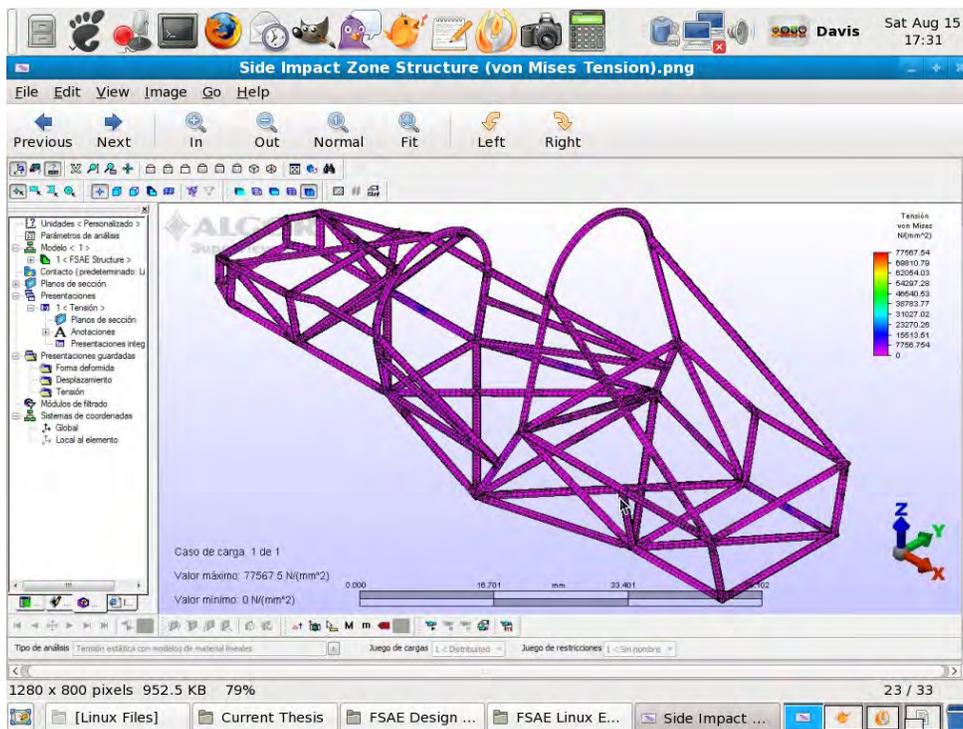


Fig. 4.1.1.4.2.e. Resultados de la Tensión Máxima de von Mises de la Estructura (Malla y Gráfica de Colores).



#### 4.1.2. SISTEMA DE FUERZA MOTRIZ Y TRANSMISIÓN.

El Diseño del Tren de Transmisión del Vehículo FSAE, fue diseñado y seleccionado en base a los criterios establecidos en el capítulo de Sistemas del Vehículo FSAE, así como la selección de la marca, modelo y manufactura del motor a utilizar y los elementos que pueden ser fabricados y/o comprados para la transmisión.

##### 4.1.2.1. MOTOR.

Los motores Honda, como puede observarse, son muy estables ya que tienen los mejores índices de elasticidad como se vio en el capítulo de Sistemas del Vehículo FSAE en la Tabla 2.1.1.4.i., la siguiente marca es Yamaha, en seguida Kawasaki y Suzuki. La elasticidad del motor CBR 600 RR es de 1.317, la del motor CBR 600 F SPORT es 1.308 y el del motor YZF R6 es de 1.000.

Tabla 2.1.1.4.i. Motores Seleccionados para el Diseño del Vehículo FSAE.

Modelo de Motor	Número de Cilindros	Cilindrada	Rc	Válvulas	$N_{m\acute{a}x.}$ [CV]	$P_{m\acute{a}x.}$ [kg-m]	$P_N$ [kg-m]	$n_N$ [RPM]	$n_P$ [RPM]	$e_p = P_{m\acute{a}x.}/P_N$	$e_n = n_N/n_P$	$E = e_p * e_n$
Honda CBR 600 RR	4L	599 cc	12:1	DOHC 16V	114.2	6.7	6.2	13100	10750	1.081	1.219	1.317
Honda CBR 600 F Sport	4	599 cc	12:1	DOHC 16V	110.3	6.8	6.5	12500	10000	1.046	1.250	1.308
Yamaha YZF R6	4L	600 cc	12.4:1	DOHC 16V	111.6	6.5	6.5	12250	12250	1.000	1.000	1.000

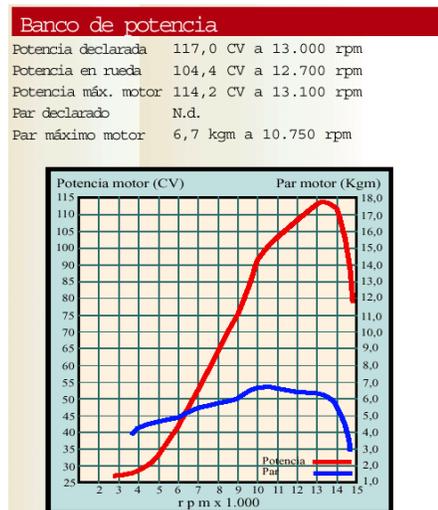


Fig. 4.1.2.1.a. Curva Característica de Par y Potencia del Motor Honda CBR 600 RR.



El Motor seleccionado es de motocicleta de Manufactura Japonesa, marca Honda, modelo CBR 600 RR, de 4 tiempos en disposición en línea, con DOHC (Double Over Head Camshaft) 16 V, con un diámetro de 67 [mm] y una carrera de 42.5 [mm], un desplazamiento de 599 [cc] y una potencia de 114.2 [CV], con una relación de compresión de 12.0:1. [Apéndice: H]

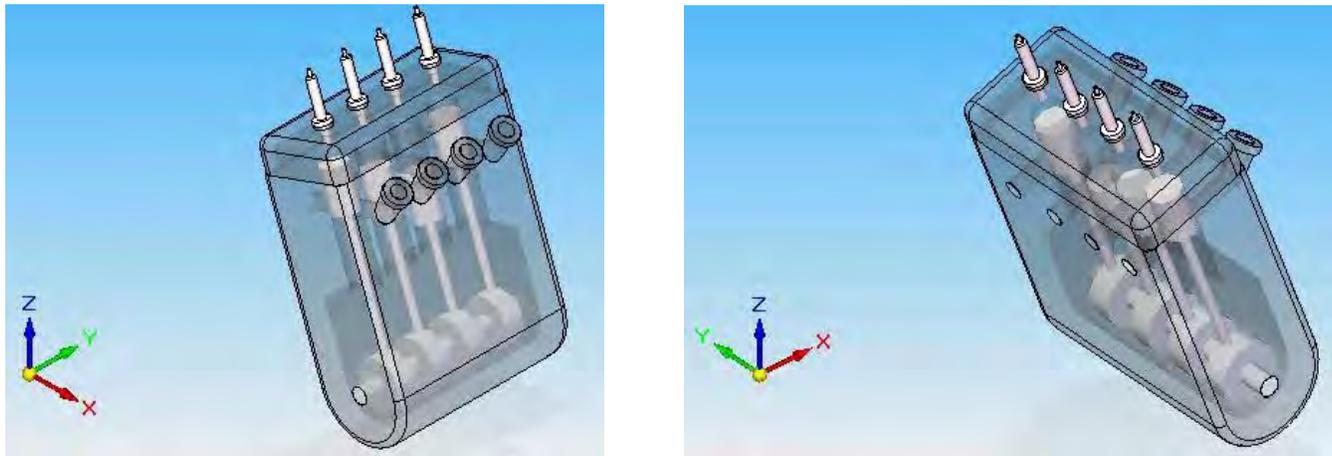


Fig. 4.1.2.1. Vistas del Diseño Ejemplificado del Motor Honda CBR 600 RR de 599 [cc] de Desplazamiento.

#### 4.1.2.1.1. MÚLTIPLE DE ADMISIÓN Y ESCAPE.

El Diseño de los Sistemas de Admisión de Aire y Escape de los Gases de Combustión, fueron establecidos mediante los criterios de diseño establecidos por las reglas de la competencia FSAE.

Con el fin de lograr una mayor capacidad de potencia al motor, se establece en el reglamento, que el diseño del Múltiple de Admisión del Motor, debe estar restringido con una toma de aire con un diámetro máximo de 20.0 [mm] (0.7874 [inch]) para vehículos que utilicen Gasolina como combustible y 19.0 [mm] (0.7480 [inch]) para motores que utilicen como combustible Etanol E-85.

El Diseño del Múltiple de Admisión es de toma aérea, con la boquilla de acceso del aire al frente del vehículo, para aprovechar al máximo el aire que circula con el movimiento del vehículo y es conducido a través de las líneas de admisión a cada una de las cámaras de las válvulas de la misma. Puede ser fabricado por medio de un proceso de fundición, hecho en su totalidad de aluminio y maquinado para su acabado final. Se diseñó de forma aerodinámica para darle estética al vehículo y principalmente a los sistemas traseros que involucran la Fuerza Motriz, además de ser agresivo y darle un toque aerodinámico y deportivo (Fig. 4.1.2.1.1.a.).



El Diseño del Múltiple de Escape, permite dirigir la salida de las 4 tomas de los Gases de Combustión a una toma general, conectándola con un silenciador y con el tubo de escape. Puede ser fabricado de tubería de acero, soldando los tramos de tubo de cada cámara y generar la geometría deseada a la salida de los gases. Debe ser de una aleación resistente a las agresiones de corrosión y soportar las elevadas temperaturas producidas por los gases de expulsión generados. (Fig. 4.1.2.1.1.b.).

Para el diseño del vehículo FSAE, no se eligió el uso de turbocargadores o supercargadores, se pretende analizar cuál es el rendimiento total de combustible que tiene el motor con el peso del vehículo y el sistema de admisión de aire natural (relación Peso-Potencia y Rendimiento-Potencia). Esto, con la finalidad de obtener parámetros de diseño para su análisis y posterior modificación del múltiple.

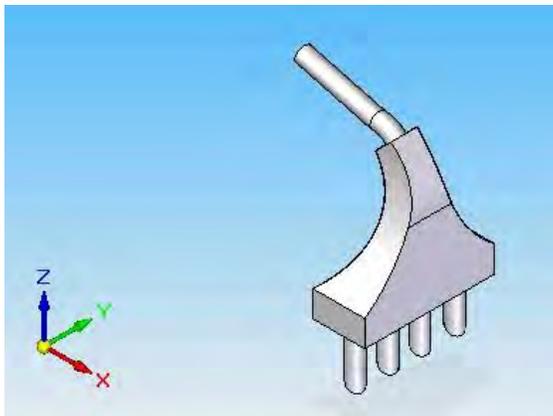


Fig. 4.1.2.1.1.a. Diseño del Múltiple de Admisión del Vehículo FSAE.

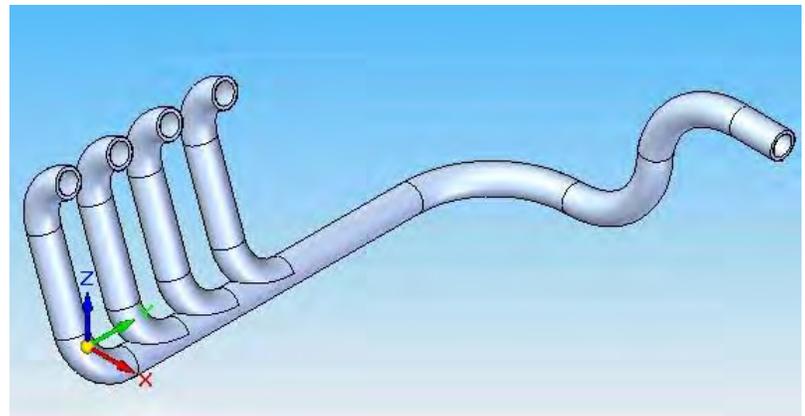


Fig. 4.1.2.1.1.b. Diseño del Múltiple de Escape del Vehículo FSAE.

#### 4.1.2.2. EMBRAGUE.

El tipo de Embrague que se diseñó para el sistema de transmisión del vehículo, es de tipo Embrague Multidisco en Baño de Aceite. Este tipo de embrague es el más utilizado en la mayoría de las motocicletas comerciales, además de que tiene poca inercia (importante para hacer cambios rápidos) y es bastante reducido y compacto en su tamaño. Para aumentar el par a transmitir, sólo debemos añadir el número de discos que se requiera emplear para la relación adecuada de torque.

El funcionamiento de un Embrague Multidisco es bastante simple. El conjunto del embrague está formado por una campana que tiene tallado un piñón de gran tamaño, dentro de ésta campana se insertan los discos, todo el conjunto está fuertemente unido por varios muelles que lo comprimen.



El embrague, también está unido al cigüeñal a través de un piñón del cigüeñal que incorpora un volante de inercia, que a su vez transmite la fuerza generada por el motor a través de una cadena de transmisión que es conectada a la caja de cambios.

Esta selección en el diseño del embrague, nos permite definir el tipo de embrague que utilizará el vehículo, además de ser un dispositivo comercial, de fácil mantenimiento y reparación. (Fig. 4.1.2.2.).

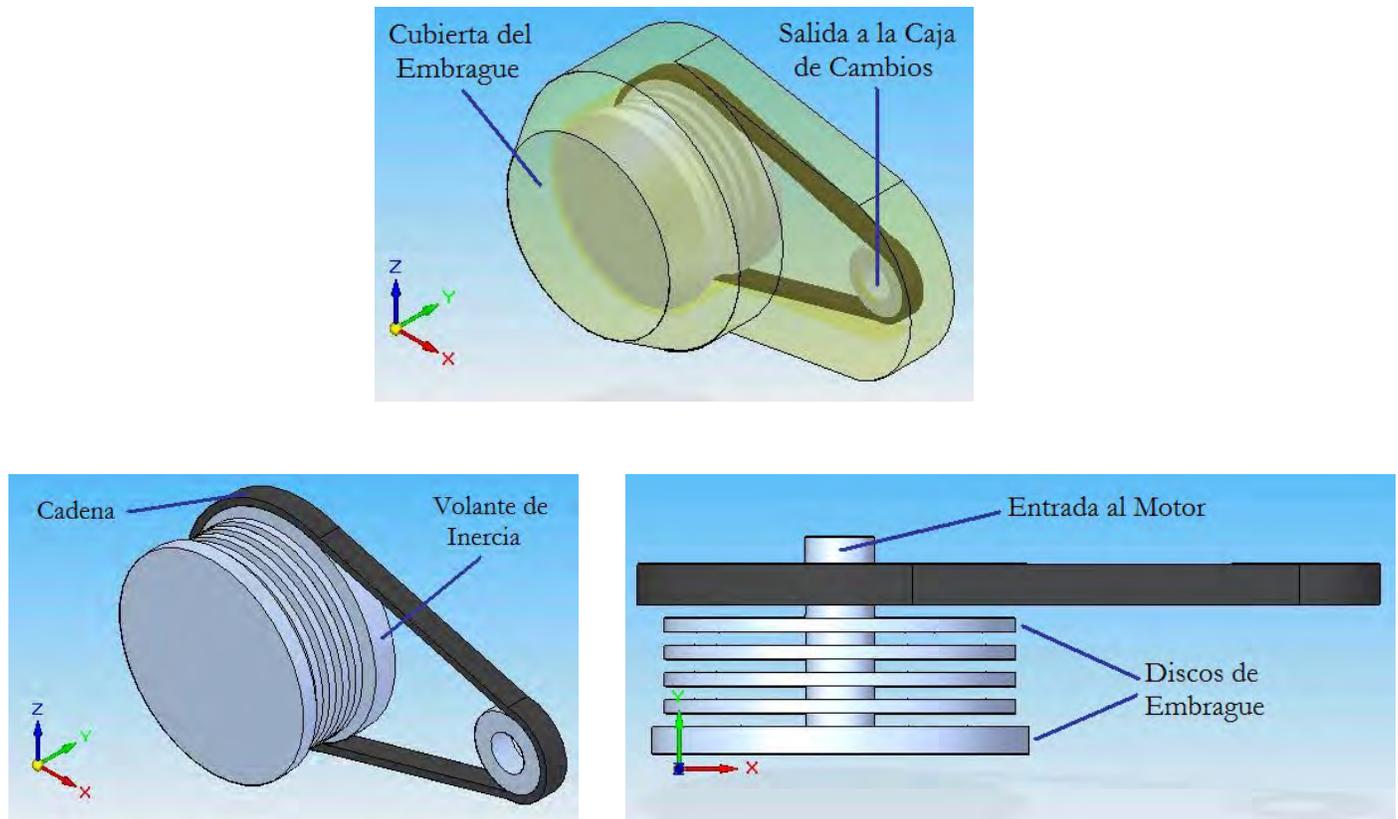


Fig. 4.1.2.2. Diseño Ejemplificado del Embrague tipo Multidisco del Vehículo FSAE.

### 4.1.2.3. CAJA DE CAMBIOS.

La Caja de Cambios diseñada, puede ser fabricada o adquirirse igualmente que el embrague de una marca comercial de motocicleta. Ésta, puede ser con una relación de entre 5 ó 6 velocidades sin marcha atrás, para reducir el peso del vehículo, además puede estar integrada con cambios secuenciales, con un embrague o clutch al volante.



Este tipo de Caja de Cambios puede fabricarse u obtenerse mediante la compra, siempre y cuando cumpla con los resguardos contenidos en la sección del reglamento del FSAE. Si es fabricada, debe especificarse que proceso se utilizó para cada elemento del sistema, así como tiempos de operación y manufactura y costo total de fabricación y mano de obra y; si es comprada, debe anexarse la marca y manufactura del fabricante, relaciones mínima y máxima que maneja, costo total de los elementos que la conforman y tiempo de montaje del sistema. La selección de manufactura o compra del sistema, está en función de los recursos económicos con que se cuenten, pero se aconseja la compra completa del sistema (Motor-Embrague-Caja) para tener efectividad del sistema de transmisión y reparación del mismo (Fig. 4.1.2.3.).

El tipo de Caja de Cambios recomendada y seleccionada, es la que viene integrada en conjunto con el sistema del motor y el embrague. Esta es igualmente de manufactura japonesa de marca Honda con una relación de 6 velocidades y acoplada mediante una cadena de transmisión.

El diseño del sistema de tracción en general, está en función del diseño de los sistemas de transmisión que se definan para emplearse, es decir, uso de cadenas, bandas, CVT (Converter Variable Torque), semiejes de transmisión, juntas homocinética y diferencial; así como la ubicación donde vayan a colocarse.

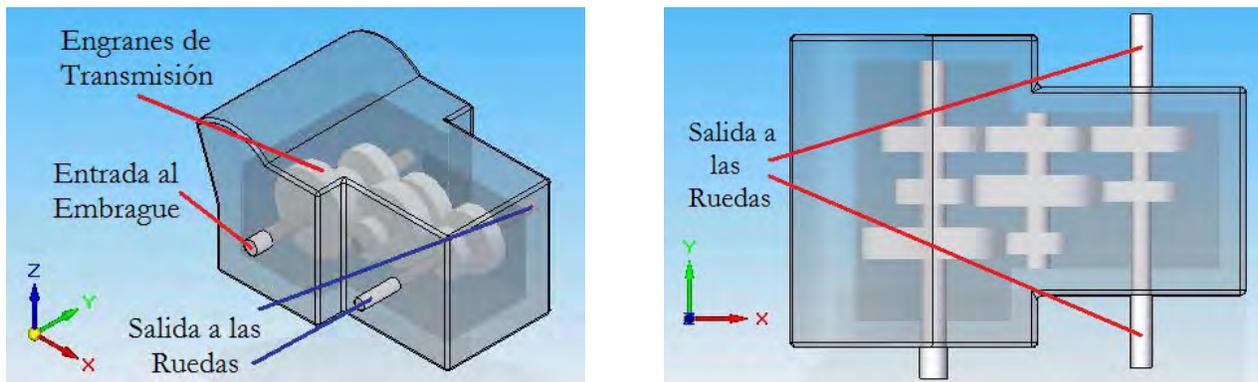


Fig. 4.1.2.3. Diseño Ejemplificado de la Caja de Cambios del Vehículo FSAE.

#### 4.1.2.4. TREN MOTRIZ Y DIFERENCIAL O PUENTE MOTRIZ.

El **Sistema de Tracción del Vehículo FSAE**, fue diseñado mediante un Tren Motriz de Transmisión, que acopla dos juntas homocinéticas que se encuentran unidas a la caja de transmisión, a través de una barra estriada del eje secundario de la caja de cambios y con juntas universales hacia las mazas de las ruedas en ambos lados del vehículo, unidas a través de cuñas para facilitar el cambio, reparación, ensamble o desensamble del sistema mediante los dos ejes de transmisión.



El uso de las juntas homocinéticas, permite mayor desplazamiento y régimen de movimiento, cuando el vehículo se encuentra en activación con el sistema de suspensión, permitiendo subir o bajar el centro de gravedad en su movimiento, pero sobre todo, manteniendo las ruedas en su mayoría del trayecto, en contacto con el terreno. En el caso del diseño del tren motriz, se eligió el uso del sistema con ejes o semiejes de transmisión, ya que es un sistema de fácil ensamblaje y desmontaje de los componentes y la colocación es mucho más sencilla y rápida, además de acoplar juntas homocinéticas y universales evitando producir esfuerzos torsionales en el sistema y aprovechar al máximo el espacio libre del vehículo tratando de no involucrar demasiado peso y utilizar la parte restante del vehículo para la colocación de otros dispositivos y sistemas (Fig. 4.1.2.4.a.).

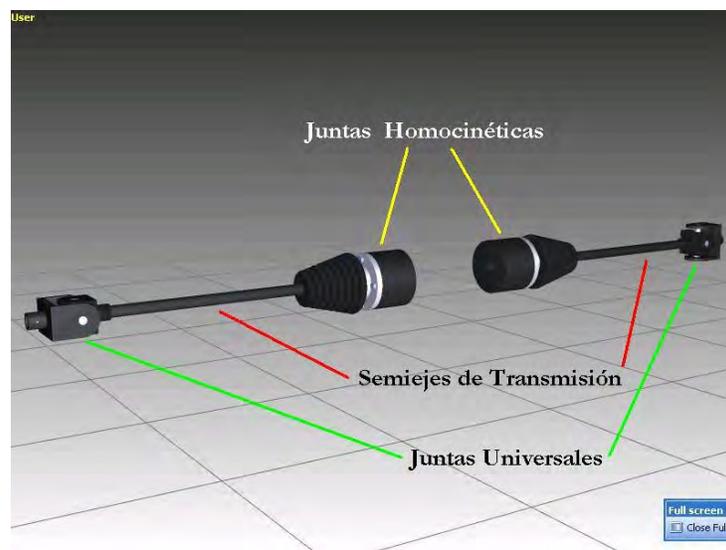


Fig. 4.1.2.4.a. Diseño del Tren Motriz del Vehículo FSAE.

Otro Componente principal o Subsistema de gran importancia y que es imprescindible para llevar a cabo el eficaz desempeño del Sistema de Tracción del Vehículo FSAE, es el Diferencial o Puente Motriz. El diseño del sistema de tracción del vehículo, es decir, el sistema de transmisión en particular, involucró la utilización de un diferencial o puente motriz especificado en el reglamento del FSAE. Se seleccionó el uso de un diferencial tipo Torsen (por su procedencia de las palabras inglesas **Torque Sensitive**) con el objetivo de probar y estudiar el comportamiento dinámico del sistema de tracción pura que se produce por medio del motor, a través de todos los sistemas de transmisión hacia las ruedas; además, aún sabiendo que el diseño aerodinámico del vehículo, el perfil bajo de la plataforma de la estructura, la selección de amortiguadores duros y los neumáticos para pavimento seco, mantienen siempre las ruedas en contacto con el terreno; el uso del diferencial mejora indudablemente la tracción en las ruedas y aumenta la eficiencia del par motriz generado por todos los sistemas de transmisión (motor, embrague, caja de cambios, semiejes de transmisión y sistema de amortiguación) hacia las ruedas y hace más eficaz la fuerza tractiva y la respuesta del vehículo a la aceleración.



La mejora que podría apreciarse física y mecánicamente en el diferencial, es cuando el vehículo experimenta un giro. Éste, produce un cambio de dirección, donde la rueda exterior efectúa un recorrido más largo que la rueda interior. Por otra parte, si el árbol de transmisión estuviera engranado rígidamente a las ruedas traseras para que ambas puedan girar a la misma velocidad, cada una de ellas resbalaría determinada distancia sin girar. En esta situación los neumáticos se desgastarían muy rápido y sería difícil el control del vehículo en las curvas. El diferencial elimina estos problemas ya que al cambiar de dirección las ruedas efectúan giros diferentes.

Cuando el vehículo se mueve en línea recta, ambos piñones planetarios giran a igual velocidad y, por tanto, los piñones satélites no giran, sólo empujan a los planetarios. En esta situación, tanto la potencia como el par que se recibe por la porta satélites, se reparten por igual a las ruedas motrices; pero, cuando el vehículo toma una curva, la rueda exterior describe un arco mayor que la interior, por lo que su planetario girará más que su correspondiente interior. Como consecuencia de ello, los satélites no sólo empujan a los planetarios, sino que giran sobre sus ejes, compensando la diferencia de recorrido de las ruedas.

La modificación o uso de un diferencial, puede realizarse directamente a la salida de la caja de cambios o emplearse en la cercanía de las ruedas, ya que existen diferentes configuraciones y tipos de transmisión para el vehículo. Depende del tipo de sistema de tracción que se diseñe, pudiendo ser por cadena, por eje o por CVT (Converter Variable Torque). El empleo del diferencial, depende de los recursos económicos y del diseño del sistema de fuerza motriz que desee emplearse, además de la complejidad de diseño y la distancia a la que se encuentren y diseñen los sistemas.

Esta selección en el diseño del tren motriz, nos permite definir el tipo de diferencial que utilizará el vehículo FSAE. Debemos considerar que el diferencial es un mecanismo de piñones y engranes simples, por lo tanto, seleccionaremos un dispositivo comercial, económico y ligero en comparación con diversos fabricantes, que posee las prestaciones necesarias antes descritas, con el fin de mantener en reducción el peso del vehículo y su uso esté diseñado para conducción deportiva, que sea silencioso, que su desgaste sea reducido y su mantenimiento no requiera demasiada supervisión, es decir, un mecanismo que se ajuste a las irregularidades e imperfecciones del camino y solo requiera engrasado para reducir el calor producido por la fricción del propio dispositivo durante su movimiento; a menos que surja un desperfecto o ruptura del sistema, dichas piezas deban ser reemplazada sin dificultad. (Fig. 4.1.2.4.b.).

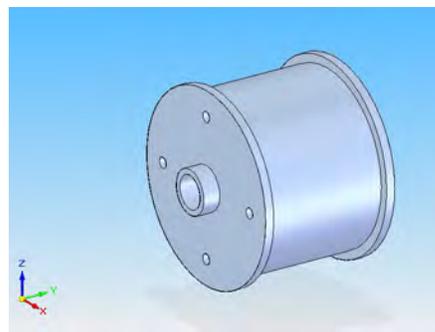


Fig. 4.1.2.4.b. Diseño del Diferencial tipo Torsen para el Vehículo FSAE.



#### 4.1.2.5. TANQUE DE COMBUSTIBLE.

El diseño del Tanque de Combustible, permite almacenar 10 [li] de capacidad volumétrica. Éste, puede ser de aluminio o de algún polímero que soporte las agresiones del combustible y los posibles impactos que pudieran presentarse. Existen tanques comerciales de motocicleta de 10 a 18 [li]. La selección del tanque de combustible, depende de la capacidad de volumen que se desee cargar o llevar dentro del vehículo, sin ninguna recarga en el área de pits para la prueba de resistencia y la prueba de ahorro de combustible; o puede ser con uno más compacto para reducir el peso del vehículo, además depende de la ubicación, colocación y diseño de los sistemas (Fig. 4.1.2.5.a.).

El reglamento del FSAE, establece que el diámetro mínimo de la boquilla de acceso de combustible, debe ser de 38.0 [mm] (1.5 [inches]) a 90 [°] o a una inclinación a no más de 45 [°] de la vertical, y con una altura mínima de 125 [mm] (4.9 [inches]). Debe contar con un tubo que mida o indique el nivel de combustible dentro del depósito o restante, de un diámetro mínimo de 6.0 [mm] (0.25 [inches]).<sup>[1]</sup>

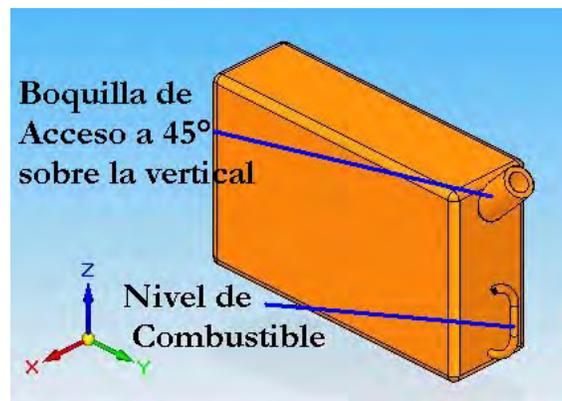


Fig. 4.1.2.5.a. Diseño del Tanque de Combustible del Vehículo FSAE.

La capacidad volumétrica máxima del tanque de combustible permitida dentro de la competencia, es de 18 [li] para las diferentes pruebas de la competencia; y en la prueba de resistencia o enduro, sólo se permite una entrada al área de pits para el cambio de neumáticos, es decir, no puede recargarse el tanque de combustible, esto es, debido a que en la prueba de resistencia se mide el rendimiento de combustible aunado al número de vueltas, pero se obtienen mayor número de puntos por un alto rendimiento de combustible, es decir, el objetivo de la prueba, es calificar y evaluar el buen desempeño del vehículo al aumentar la eficiencia de los gases de combustión con el aire para obtener una mejor relación de recorrido por un mínimo de combustible [km/li].



En general, la eficiencia y el rendimiento de combustible [km/li] de la mayoría de los motores de motocicleta de pista, se encuentran dentro de los 100 [km] por cada 8 [li], entre velocidades de 150 y 220 [km/h]; en base a estas proporciones se puede elegir el tipo y tamaño de tanque de combustible, ya que el número máximo de vueltas establecido para la prueba de resistencia debe de comprenderlas cada vehículo participante en el menor tiempo posible, ya que la velocidad promedio entre vueltas es de 40 a 60 [km/h] (25 a 35 [mph]) y máxima en un tramo recto de la pista de 105 [km/h] (65 [mph]).

Para nuestro diseño, el tanque de combustible se ubica en la posición trasera del vehículo, en la parte baja y trasera del muro de fuego (firewall), aprovechando las dimensiones y diseño de los sistemas (Fig. 4.1.2.5.b.).

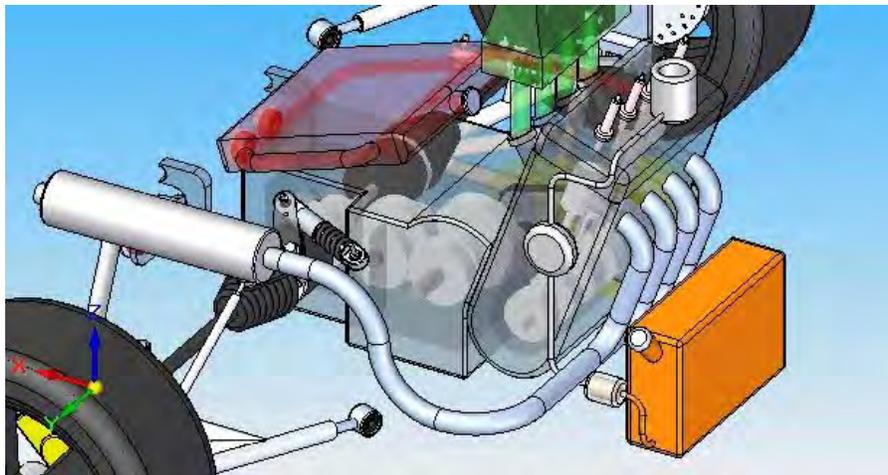


Fig. 4.1.2.5.b. Ubicación del Tanque de Combustible dentro del Vehículo FSAE.

#### 4.1.2.6. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

El Sistema de Enfriamiento del Vehículo FSAE, puede ser enfriado de diferentes maneras: enfriamiento por agua, enfriamiento por aceite, enfriamiento por un líquido anticongelante o enfriamiento por aire.

Los más utilizados son por la combinación de agua y algún tipo de líquido de enfriamiento comercial y por aire. Para el caso de un Vehículo de Competencia Estilo Fórmula, existen dos configuraciones posibles para el enfriamiento del motor. Los más utilizados son paneles de ventilación (radiadores) en uno o en ambos lados de la carrocería, que son enfriados por aire en su mayor parte y con recirculación de líquido hacia las camisas de enfriamiento del motor. La otra posible configuración, es utilizando un radiador enfriado por un ventilador para reducir la temperatura del fluido que circula a través de las camisas de enfriamiento del motor.



En nuestro diseño, involucramos el uso de un radiador enfriado por un ventilador, que es colocado en la parte superior y trasera del vehículo; ésta selección se tomó en base a criterios de diseño y costos, como lo son: el montaje, desmontaje y operación rápida y efectiva de este tipo de sistema, además de que su funcionamiento es el más común y es un sistema mucho más económico, además de reducir en un gran porcentaje el peso del vehículo y hacerlo más ligero, que es uno de los objetivos principales en el diseño y al momento de la competencia. Sus ventajas son el acceso fácil de montaje y operación, bajo costo y peso reducido; sus desventajas son un sólo sistema de enfriamiento, versatilidad en comparación con el sistema de enfriamiento por aire.

El sistema de paneles de enfriamiento por aire, involucra otro tipo de variables para su diseño, como lo son: colocación de los sistemas, diseño de la carrocería, aerodinámica de la carrocería, porcentaje de líneas de flujo de aire que deben circular en su mayoría (Capa Límite del Fluido). Sus ventajas son la utilización del aire como medio de enfriamiento, su eficiencia, versatilidad, diseño y estética; sus desventajas son el peso, el montaje y el costo de reparación y mantenimiento son muy elevados. Además, otra variable es el aspecto de seguridad y funcionamiento del sistema, es decir, si el vehículo llega a sufrir un impacto lateral dentro de la competencia, éste sale de operación por la falla total del sistema de enfriamiento. Aunque las probabilidades de salir fuera de operación del vehículo son bajas, ésta decisión influyó para la selección del sistema de enfriamiento, además de la complejidad en el diseño del sistema (Fig. 4.1.2.6.).



Fig. 4.1.2.6. Sistema de Enfriamiento por Aire (Paneles Laterales).



#### 4.1.2.6.1. RADIADOR.

Para el diseño del Vehículo FSAE, seleccionamos un radiador como sistema de enfriamiento del motor, utilizando una mezcla de agua y líquido anticongelante como recirculación del fluido en las camisas de enfriamiento del motor, ubicado en la parte superior y trasera del vehículo. (Fig. 4.1.2.6.1.).

Ya que es un sistema de rápido ensamblaje y de bajo costo, se eligió un radiador enfriado por un ventilador simple a un número de regímenes de velocidad variable con un sistema de activación sencillo (termostato) para su operación. Además de reducir peso y espacio, no es un diseño complejo. El tipo, tamaño, capacidad volumétrica, peso y marca del radiador, está en función de los recursos económicos que se cuenten y de la complejidad en la colocación del propio sistema.

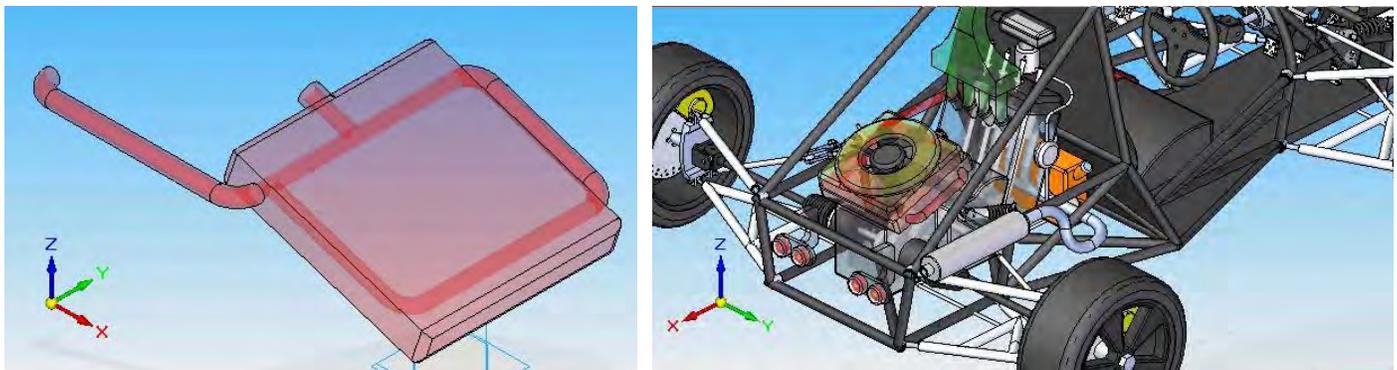


Fig. 4.1.2.6.1. Radiador y Ubicación del Sistema de Enfriamiento dentro del Vehículo FSAE.

#### 4.1.3. SISTEMA DE SUSPENSIÓN.

El diseño, la ubicación y las dimensiones que deben cumplir los sistemas delanteros, traseros y componentes internos del vehículo FSAE, como son: suspensión, rótulas de empuje (push rods), amortiguadores y resortes, dirección, mazas de suspensión y dirección, motor, transmisión, ejes de transmisión, neumáticos y el diseño en conjunto de la estructura, que es donde irán montados los sistemas mencionados; influyen en la selección de diseño del Centro de Giro del Vehículo (Roll Centre).

Además, está restringido por las limitantes (medidas y dimensiones) que debe tener la estructura a partir del suelo a cada elemento que lo constituye, esto establecido por el reglamento del FSAE.<sup>[1]</sup>



#### 4.1.3.1. CENTRO DE GIRO (ROLL CENTRE).

Con el fin de entender la importancia del Eje de Giro de un Vehículo, el primer factor que hay que examinar, es la dinámica del mismo. Éste, debe realizarse mediante un Análisis Dinámico del Vehículo, en donde el objetivo del mismo, pretende analizar y estudiar el comportamiento de las fuerzas ejercidas por el vehículo a través de su movimiento, ya sea éste rectilíneo (permanezca en línea recta) o cuando exista un cambio de dirección (entra en una curva). Esencialmente, el giro del vehículo es un resultado del momento formado por la distancia del Centro de Gravedad (C. G.) al eje de giro del mismo.

**Los tres factores que afectan al Eje de Giro del Vehículo, son los Centros de Giro Delantero, los Centros de Giro Trasero del mismo, y sus respectivos Centros de Gravedad.**

Cuando un vehículo entra en una curva, una fuerza lateral es ejercida en su centro de gravedad. Si el *Centro de Giro está por debajo del Centro de Gravedad*, un momento es formado y el vehículo manifiesta una inclinación durante el movimiento.

Una de las dificultades involucradas con la selección del Centro de Giro (Roll Center) del Vehículo, es que cambia con el desplazamiento del neumático. Una aproximación sería escoger la región en la cual podría mantenerse el Centro de Giro por dentro (positivo y/o negativo sea el caso) para todos los desplazamientos. Las tres regiones básicas para ubicar el centro de giro son: la misma altura tomada como el centro de gravedad, por abajo del suelo y entre el suelo y el centro de gravedad. Usualmente esto no es deseable para tener cambios del centro de giro entre las regiones desde las cuales fueron diseñadas previamente.

Otro método es diseñar una suspensión, en la cual el centro de giro permanezca constante, esto se lleva a cabo con la selección del mejor arreglo o configuración SLA (Short-Long Arm), que sería óptima para tener el centro de gravedad y ambos centros de giro sobre el mismo plano. Esto no creará momento alguno en los resultados durante el giro y no permitirá que exista deslizamiento de los neumáticos alrededor de las vueltas.

*Nota:* Un vehículo que sea diseñado con el mismo ángulo del eje de giro de la estructura, podrá ser ajustado por medio de los resortes o muelles de los amortiguadores y mediante una barra anti-giro (anti-roll bar), pero un vehículo sin ángulo alguno, es decir, que el diseño sea con bastidores paralelos, no podrá ajustarse de ninguna forma para su giro (únicamente el ajuste sería por la inclinación natural del vehículo, pero sería mínima).

Para conocer el ángulo formado por el centro de giro del vehículo, es necesario resolver la siguiente ecuación para obtener el ángulo de desplazamiento teórico de diseño que tendrá el vehículo FSAE.



$$h_{CG} = \frac{L \times \text{sen}^{-1} \alpha \times |W - W_{piloto}|}{W} \dots\dots\dots (4.1.3.1.)$$

Donde:

- $h_{CG}$  - Altura del Centro de Gravedad.
- $L$  - Distancia entre Ejes.
- $W$  - Peso Total del Vehículo.
- $|W - W_{piloto}|$  - Diferencia de Peso del Vehículo con Piloto.
- $\alpha$  - Ángulo formado por el Centro de Giro.

Datos:

- $h_{CG} = 300[mm]$
- $L = 1550[mm]$
- $W = 300[kg]$
- $|W - W_{piloto}| = |300 - 70[kg]| = 230[kg]$
- $\alpha = ?$

Despejando  $\alpha$  y sustituyendo los valores:

$$\alpha = \text{angsen} \left( \frac{h_{CG} \times W}{L \times |W - W_{piloto}|} \right) = \text{angsen} \left( \frac{300[mm] \times 300[kg]}{1550[mm] \times 230[kg]} \right) = 14.62[^\circ]$$

*Este valor nos indica el declive o inclinación teórica máxima de diseño, que puede tener el vehículo durante su movimiento, esto en relación a la altura del centro de gravedad diseñada.*

Para conocer el valor real de inclinación del vehículo, es necesario realizar un análisis en conjunto con el sistema de amortiguación, conocer el área de contacto de los neumáticos (superficie de adherencia) y su perfil de inclinación lateral; así como la apertura máxima de los brazos de suspensión trabajando con el vehículo estático y sin peso, y otro en movimiento con el propio peso del piloto.



#### 4.1.3.2. SISTEMA DE SUSPENSIÓN FRONTAL.

El tipo de sistema de suspensión frontal que se definió, fue seleccionado para usarse con un **Brazo Doble en A en la parte inferior del sistema y un Brazo Sencillo en la parte superior** del mismo, con un sistema de amortiguación ubicado en la parte del riel o canal superior de la estructura; este sistema está comprendido por dos amortiguadores de tipo duro para una conducción deportiva, pudiendo utilizarse con dampers calibrados a determinada presión de operación, al igual van acompañados con muelles que permitan reducir la frecuencia producida por el amortiguador, el vehículo y el terreno. Esto se lleva a cabo con el análisis del sistema en general y el tipo de equipo que quiera emplearse en base a costos y recursos económicos (Fig. 4.1.3.2.a.).

El sistema de suspensión delantera, se diseñó con un Brazo en A y un Brazo Sencillo, con el objetivo de estudiar el comportamiento que tiene el sistema con las irregularidades del terreno y la frecuencia generada por los sistemas que lo constituyen, además de reducir peso al sistema y al vehículo en general.

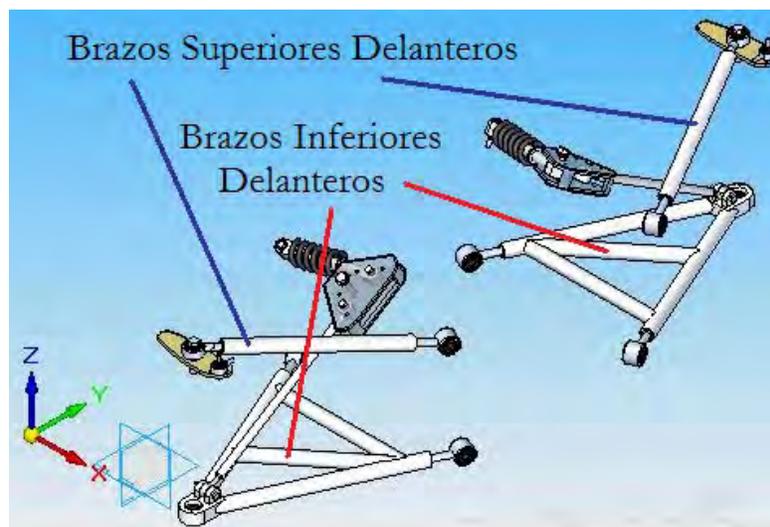


Fig. 4.1.3.2.a. Diseño del Sistema de Suspensión Frontal del Vehículo FSAE.

Existen diferentes configuraciones para la colocación del sistema de amortiguación como se vio en el capítulo de Sistemas del Vehículo FSAE. Éste, puede operar con una posición horizontal, vertical, inclinada o con la combinación de ambos. Para el vehículo FSAE se diseñó con un sistema de amortiguación inclinado, utilizando Push Rods (Rótulas de Empuje) que operan en forma de balancín de la parte baja de la suspensión hacia la parte del canal o riel superior de la estructura, de ahí el nombre del sistema. Además, puede incorporarse al sistema de suspensión, una barra que reduzca el giro del vehículo o provoque el subviraje del vehículo (anti roll bar) y para proveer de rigidez el giro requerido del sistema (Fig. 4.1.3.2.b.).

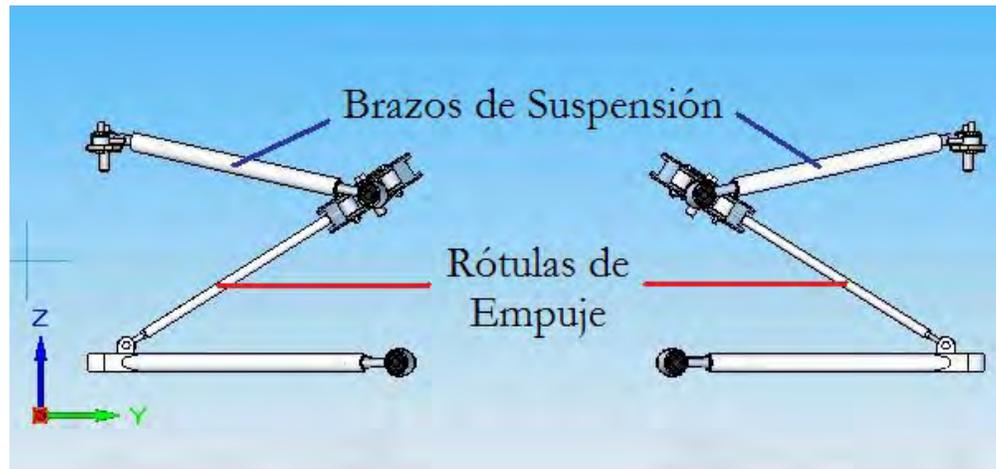


Fig. 4.1.3.2.b. Diseño del Sistema de Suspensión-Amortiguación Frontal del Vehículo FSAE.

La selección de diseño, se hizo en base al tipo de suspensión diseñada, es decir, como se eligió un brazo doble en A y un brazo sencillo, se requiere equilibrar las fuerzas generadas por el sistema de suspensión a las irregularidades adoptadas por los neumáticos y equilibrarse e igualarse con la acción de las fuerzas del sistema de empuje de los amortiguadores (Push Rods), con el fin de reducir la carga generada por el sistema de suspensión, la estructura y carrocería, el peso del piloto y de los propios sistemas del vehículo.

La geometría del sistema de suspensión frontal, fue principalmente determinada por los requerimientos de la ubicación del centro de giro del vehículo, el ancho de la huella de los neumáticos y por la geometría del sistema de dirección. La configuración SLA (Short-Long Arm) diseñada, es con el brazo superior largo y el brazo inferior corto, usado para limitar el centro de giro del vehículo durante el recorrido de las ruedas. La razón por la cual se eligió este tipo de suspensión, son las características del camber, el cuál cambia con ambos movimientos verticales de la suspensión y puede ser construida con una configuración no muy compleja, de tal forma que incremente la facilidad de manufactura y reduzca los tiempos y procesos de fabricación, así como los costos del sistema.

Todo el conjunto de suspensión, juega un papel muy importante en el diseño del vehículo, ya que conecta las mazas de suspensión, con los neumáticos, con el sistema de amortiguación del vehículo y el sistema autónomo de dirección junto con los elementos del armazón del vehículo.

Los brazos inferiores y superiores de la suspensión, están diseñados de un diámetro de 25.4 [mm] (1 [inch]) unidos por una barra en forma triangular, siendo estos de tubería de acero, aluminio o alguna otra aleación de acero templado (especificada en el reglamento), de tal forma que puedan resistir u oponer una fuerza máxima lateral de 10 [kN]  $\approx$  1 [Ton] establecida por los índices de seguridad que son establecidos por el reglamento del FSAE.<sup>[1]</sup>



Los elementos de sujeción hacia las mazas de suspensión y el sistema de la estructura, es por medio de rótulas esféricas, con el fin de proporcionar y proveer el movimiento libre al sistema cuando el vehículo experimenta el balance producido por el cambio del centro de gravedad, por los giros e inclinaciones en las vueltas y principalmente por la acción del sistema de amortiguación. Esto también es con el fin de prevenir una grieta o fractura al sistema de suspensión y a la propia estructura o debido a un impacto súbito e inesperado.

El primer paso, fue decidir y seleccionar el tipo de configuración de suspensión SLA (Short-Long Arm) que se pretende diseñar para un funcionamiento óptimo de los sistemas de amortiguación, ésta fue seleccionada con una posición positiva del camber, con la parte inferior de la suspensión horizontal y la parte superior con un ángulo de inclinación (Fig. 4.1.3.2.c.).

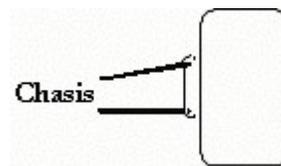


Fig. 4.1.3.2.c. Posición del Camber Positivo en la Mayoría del Desplazamiento (Muy Óptimo).

El segundo paso, fue elegir el tipo de neumáticos a utilizar, esto es porque el diámetro del neumático, permite subir o bajar la altura de la estructura, además de que el centro de ambas ruedas, son el centro de giro del sistema de frenos y donde actúan en general todos los sistemas de dirección y funcionamiento del vehículo y donde se desplaza el centro de gravedad del vehículo en su movimiento.

El tercer paso, fue decidir el tipo de sistema de dirección que se desea utilizar. Este puede ser, terrestre o aéreo; ambas configuraciones son óptimas, la diferencia es la complejidad de diseño y la distancia a la que deseen colocarse los sistemas. Para nuestro diseño, se eligió el uso del sistema aéreo, ya que es un sistema de fácil ensamblaje y desmontaje de los componentes y la colocación es mucho más sencilla y rápida, además de aprovechar al máximo el espacio libre del vehículo y utilizar la parte del suelo del vehículo para la colocación de otros dispositivos y sistemas.

El cuarto paso, fue diseñar, donde iba a ubicarse la parte frontal de la estructura, así como las dimensiones y la parte del bastidor frontal (Front Roll Hoop) del vehículo, con las especificaciones establecidas por el Reglamento del FSAE, como son la altura mínima del terreno a la misma y la altura que debe tener la parte superior del Front Hoop con el volante de dirección (Fig. 4.1.3.2.d.).

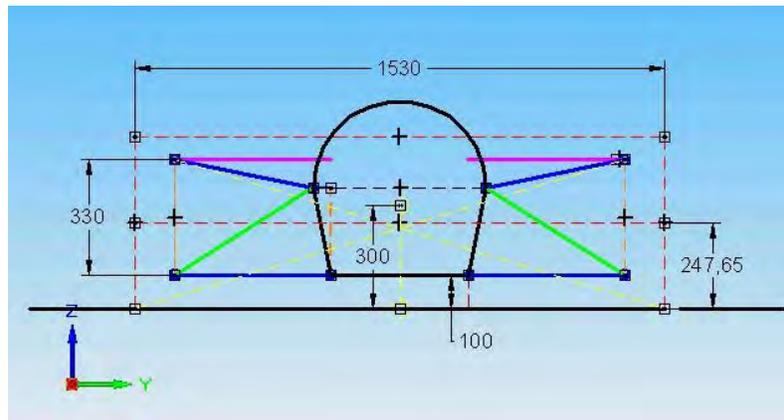


Fig. 4.1.3.2.d. Diseño y Ubicación de los Sistemas Delanteros del Vehículo FSAE.

El quinto paso, fue establecer la ubicación y dimensiones de las mazas de la suspensión, en base al tipo de configuración de suspensión SLA (Short-Long Arm) seleccionada para el diseño.

El último paso, fue decidir donde iba a colocarse el sistema de amortiguación del vehículo (Push Rods). Éste, puede trabajar de diferentes formas y posiciones de operación; puede ser de forma horizontal, vertical o con un determinado porcentaje o grado de inclinación. Para nuestro diseño se eligió un sistema de absorción de energía que trabaje de abajo hacia arriba, es decir, de la parte inferior de los brazos de la suspensión cercanos a las mazas, hacia la parte del riel o canal superior de la estructura (Fig. 4.1.3.2.e.).

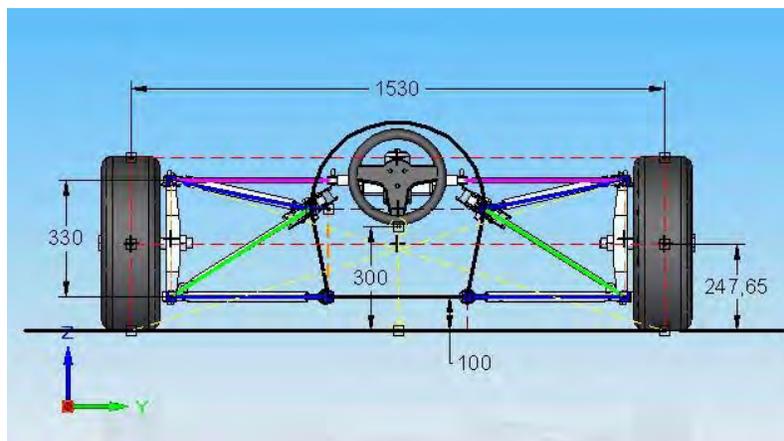


Fig. 4.1.3.2.e. Ubicación de los Sistemas Delanteros del Vehículo FSAE.

Para finalizar, se establecen las dimensiones de diseño que deseamos para el vehículo FSAE, ya que debe tener una distancia igual o de no menos del 75 % de la huella central de los neumáticos traseros del vehículo. Las dimensiones establecidas son:



- Distancia del Terreno al Centro de Giro del Vehículo: 300 [mm].**
- Distancia del Terreno al Centro de la Rueda: 247.65 [mm] (9.75 [inches]).**
- Distancia del Terreno a la Parte más baja de la Estructura: 100 [mm].**
- Distancia del Centro de la Huella de los Neumáticos: 1530 [mm].**
- Distancia de las Mazas de la Suspensión: 330[mm].**

La configuración de diseño de éste sistema de suspensión frontal, se eligió con el fin de disminuir las vibraciones provocadas por las irregularidades del terreno; además, porque los brazos de la suspensión fueron diseñados de tipo en A, para la parte inferior de la suspensión y con un brazo sencillo en la parte superior de la misma, además de que un sólo brazo en el sistema de suspensión reduce peso y costo al sistema y al propio vehículo. Es por ésta razón, que el presente trabajo pretende servir como una guía, englobando todos los sistemas que intervienen en el vehículo, para poder efectuar en un futuro, un estudio más exhaustivo de cada uno de los sub-sistemas y, analizar el comportamiento dinámico del sistema en funcionamiento con el movimiento del vehículo en general, obteniendo los resultados físicos, matemáticos, gráficos y analíticos de operación de todos los sistemas y elementos en conjunto.

#### 4.1.3.2.1. AMORTIGUADORES, RESORTES, ROCKERS Y PUSH RODS.

La función principal de los resortes, es almacenar la variación total de energía que es causada por las irregularidades del terreno y por los movimientos del vehículo. De éste modo, la razón del uso progresivo del resorte ha sido introducido para reducir el golpe total generado por el chasis del vehículo a través de una absorción de energía, con el fin de mantener los neumáticos sobre el camino en la mayor parte de su recorrido. Esto mejorará la salida o respuesta del vehículo a la tracción, el frenado y aceleración del mismo.

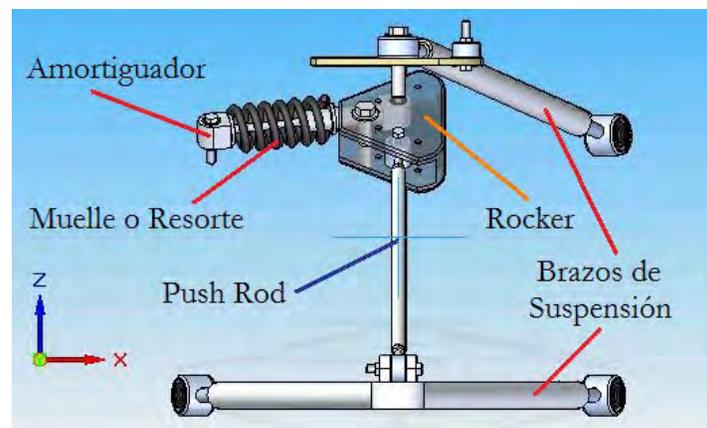


Fig. 4.1.3.2.1. Sistema o Unidad de Amortiguación del Sistema de Suspensión Delantera del Vehículo FSAE.



La propuesta de diseño del sistema de amortiguación es mediante el uso de barras de empuje (Push Rods), unidos por un balancín (Rocker) y amortiguadores duros con dampers alimentados por aire. El diseño del sistema, está en función del tipo de amortiguadores que quieran emplearse y a los recursos económicos con que se cuenten (Fig. 4.1.3.2.1.).

### 4.1.3.3. SISTEMA DE SUSPENSIÓN POSTERIOR.

Generalmente, la suspensión trasera está conformada de tres elementos principales, la cual incluye: los brazos de la suspensión, los push rods y las unidades de muelles o resortes y amortiguadores. Para el vehículo de competencia FSAE, la suspensión trasera fue diseñada de tal forma que cumpla la función de diseño en el tipo de suspensión SLA (Short-Long Arm) seleccionada, así como de igual forma semejante al diseño de la suspensión delantera, con un **Brazo en A en la parte inferior de la suspensión** y un **Brazo Sencillo en la parte superior**, esto, con el fin de reducir peso al sistema y al vehículo en general y probar y analizar el funcionamiento y comportamiento real del sistema del vehículo con esta configuración (Fig. 4.1.3.3.a.).

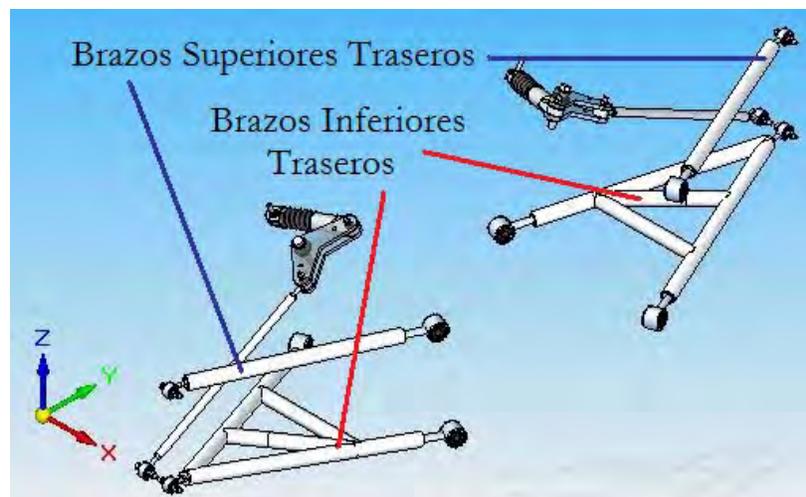


Fig. 4.1.3.3.a. Diseño del Sistema de Suspensión Trasera del Vehículo FSAE.

El tipo de suspensión independiente SLA (Short-Long Arm), es uno de los diseños de suspensión más utilizados por la mayoría de las universidades participantes, ya que es un sistema que mantiene las ruedas perpendiculares al camino bajo cualquier situación y en cualquier combinación de golpe, rebote y giro del sistema, así como existe disminución de patinaje o deslizamiento del vehículo de la parte trasera, debido a la posición del motor pudiendo producir sobreviraje.



Para las unidades de amortiguación, los muelles o resortes deben colocarse acorde a la configuración diseñada y deben seleccionarse los más adecuados para su más óptimo funcionamiento en base a cálculos, análisis de frecuencia, factores de elasticidad, constantes elásticas, costos, entre otros; mientras que los amortiguadores serán duros para una conducción deportiva, tomando en cuenta el tipo de fluido a emplear para su función y la máxima carga de operación de compresión que pretenda utilizarse.

Todo el conjunto de suspensión, juega un papel muy importante en el diseño del vehículo, ya que conecta el eje de transmisión de las ruedas y los sistemas de fuerza motriz, junto con los elementos o unidades de amortiguación o absorción de energía del vehículo.

Los brazos diseñados para el sistema de suspensión trasera, son de tipo independiente SLA (Short-Long Arm), también conocidos como tipo Doble Brazo en A para la parte inferior de la suspensión y un brazo sencillo en la parte superior. Estos son unidos en uno de sus extremos hacia las mazas para la sujeción del sistema. La razón por la cual se eligió este tipo de suspensión, son las características del camber, el cual cambia con ambos movimientos verticales de la suspensión y puede ser construida con una configuración no muy compleja, de tal forma que incremente la facilidad de manufactura y reduzca los tiempos y procesos de fabricación, así como los costos del sistema. Los brazos inferiores y superiores de la suspensión, están diseñados de un diámetro de 25.4 [mm] (1 [inch]) unidos por una barra en forma triangular, siendo estos de tubería de acero, aluminio o alguna otra aleación de acero templado (especificada en el reglamento), de tal forma que puedan resistir u oponer una fuerza máxima lateral de 10 [kN]  $\approx$  1 [Ton] establecida por los índices de seguridad que son establecidos por el reglamento del FSAE.<sup>[1]</sup>

Los elementos de sujeción hacia las mazas de suspensión y el sistema de la estructura, es por medio de rótulas esféricas, con el fin de proporcionar y proveer el movimiento libre al sistema cuando el vehículo experimenta el balance producido por el cambio del centro de gravedad, por los giros e inclinaciones en las vueltas y principalmente por la acción del sistema de amortiguación. Esto también es con el fin de prevenir una grieta o ruptura al sistema de suspensión y a la propia estructura o debido a un impacto súbito e inesperado.

El primer paso, fue decidir y seleccionar el tipo de configuración de suspensión SLA (Short-Long Arm) que se pretende diseñar para un funcionamiento óptimo de los sistemas de amortiguación, ésta fue seleccionada con una posición negativa del camber, con la parte inferior de la suspensión con un determinado ángulo de inclinación y la parte superior horizontal (Fig. 4.1.3.3.c).

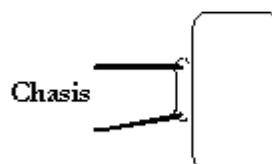


Fig. 4.1.3.3.c. Posición del Camber Siempre Negativo (Óptimo).



El segundo paso, fue elegir el tipo de neumáticos a utilizar, esto es porque el diámetro del neumático, permite subir o bajar la altura de la estructura, además de que el centro de ambas ruedas, son el centro de giro del sistema de frenos y donde actúan en general todos los sistemas de tracción y funcionamiento del vehículo y donde se desplaza el centro de gravedad del vehículo en su movimiento.

El tercer paso, fue decidir el tipo de sistema de transmisión que se desea utilizar. Éste, esta relacionado con el sistema de suspensión y el tipo de motor, así como el diseño y ubicación del mismo dentro del vehículo. Este sistema, puede diseñarse de diferentes formas, ya que existen diferentes configuraciones y tipos de transmisión para el vehículo. Puede ser diseñado por cadenas de transmisión, por CVT (Converter Variable Torque), por ejes de transmisión con o sin diferencial, la diferencia es la complejidad de diseño y la distancia a la que deseen colocarse los sistemas. Para nuestro diseño, se eligió el uso del sistema con ejes o semiejes de transmisión, ya que es un sistema de fácil ensamblaje y desmontaje de los componentes y la colocación es mucho más sencilla y rápida, además de acoplar juntas homocinéticas y universales evitando producir esfuerzos torsionales en el sistema y aprovechar al máximo el espacio libre del vehículo tratando de no involucrar demasiado peso y utilizar la parte restante del vehículo para la colocación de otros dispositivos y sistemas.

El cuarto paso, fue diseñar, donde iba a ubicarse la parte trasera de la estructura, así como las dimensiones y los soportes traseros del vehículo, con las especificaciones establecidas por el Reglamento del FSAE, como son la altura mínima del terreno a la misma y la máxima altura que debe tener la parte superior del Main Hoop y sus respectivas abrazaderas del bastidor (Fig. 4.1.3.3.d.).

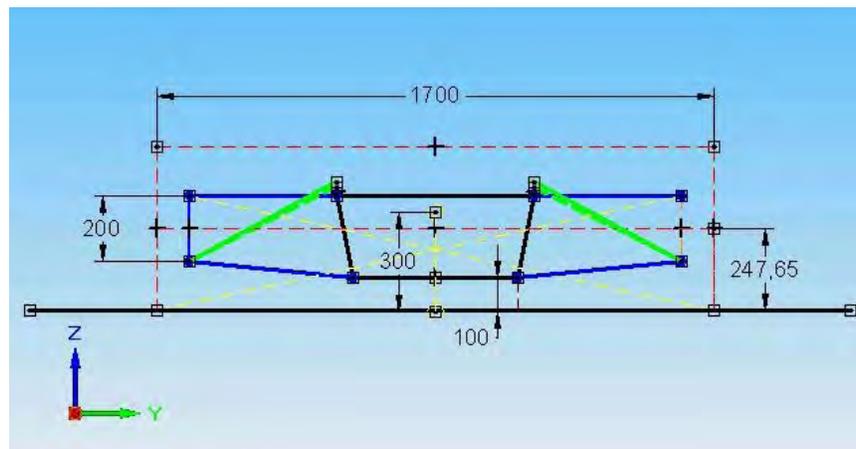


Fig. 4.1.3.3.d. Diseño y Ubicación de los Sistemas Traseros del Vehículo FSAE.

El quinto paso, fue establecer la ubicación y dimensiones de las mazas de la suspensión, en base al tipo de configuración de suspensión SLA (Short-Long Arm) seleccionada para el diseño.



El último paso, fue decidir donde iba a colocarse el sistema de amortiguación del vehículo (Push Rods). Éste, puede trabajar de diferentes formas y posiciones de operación; puede ser de forma horizontal, vertical o con un determinado porcentaje o grado de inclinación. Para nuestro diseño se eligió un sistema de absorción de energía que trabaje de abajo hacia arriba, es decir, de la parte inferior de las mazas de la suspensión, hacia la parte del riel o canal superior de la estructura (Fig. 4.1.3.3.e.).

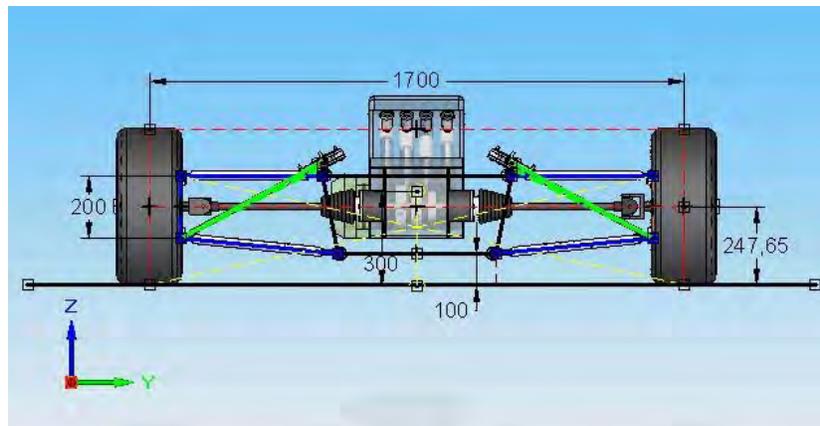


Fig. 4.1.3.3.e. Ubicación del Centro de Giro del Sistema de Suspensión Trasera del Vehículo FSAE.

Para finalizar, se establecen las dimensiones de diseño que deseamos para el vehículo FSAE, no varían en la altura mínima del suelo a la estructura y al centro de giro del vehículo, ya que la estructura seleccionada para el diseño, es de geometría horizontal y uniforme en toda su longitud. Las dimensiones establecidas son:

**Distancia del Terreno al Centro de Giro del Vehículo: 300 [mm].**

**Distancia del Terreno al Centro de la Rueda: 247.65 [mm] (9.75 [inches]).**

**Distancia del Terreno a la Parte más baja de la Estructura: 100 [mm].**

**Distancia del Centro de la Huella de los Neumáticos: 1700 [mm].**

**Distancia de las Mazas de la Suspensión: 200[mm].**

La configuración de diseño de éste sistema de suspensión posterior, se eligió con el fin de disminuir las vibraciones provocadas por las irregularidades del terreno; además, porque los brazos de la suspensión fueron diseñados de tipo en A, para la parte inferior de la suspensión y con un brazo sencillo en la parte superior de la misma, además de que un sólo brazo en el sistema de suspensión reduce peso y costo al sistema y al propio vehículo. Es por ésta razón, que el presente trabajo pretende servir como una guía, englobando todos los sistemas que intervienen en el vehículo, para poder efectuar en un futuro, un estudio más exhaustivo de cada uno de los sub-sistemas y, analizar el comportamiento dinámico del sistema en funcionamiento con el movimiento del vehículo en general, obteniendo los resultados físicos, matemáticos, gráficos y analíticos de operación de todos los sistemas y elementos en conjunto.



#### 4.1.3.3.1. AMORTIGUADORES, RESORTES, ROCKERS Y PUSH RODS.

La función principal de los resortes, es almacenar la variación total de energía que es causada por las irregularidades del terreno y por los movimientos del vehículo. De este modo, la razón del uso progresivo del resorte, ha sido introducida para reducir el golpe total generado por el chasis del vehículo a través de una absorción de energía, con el fin de mantener los neumáticos sobre el camino en la mayor parte de su recorrido. Esto mejorará la salida o respuesta del vehículo a la tracción, el frenado y aceleración del mismo.

La propuesta de diseño del sistema de amortiguación es mediante el uso de barras de empuje (Push Rods), unidos por un balancín (Rocker) y amortiguadores duros con dampers alimentados por aire. El diseño del sistema, está en función del tipo de amortiguadores que quieran emplearse y a los recursos económicos con que se cuenten (Fig. 4.1.3.3.1.).

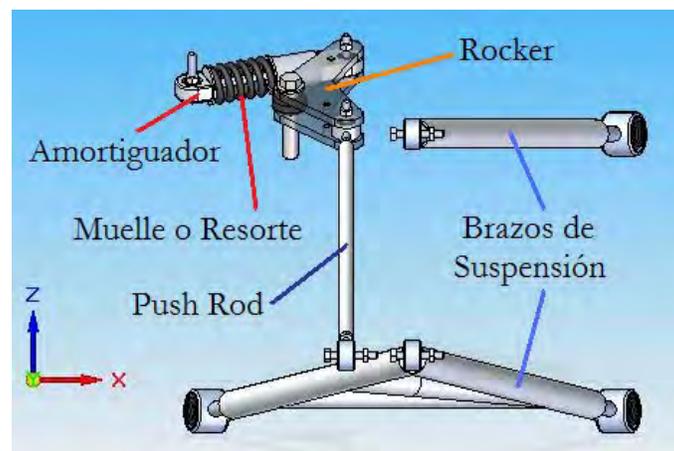


Fig. 4.1.3.3.1. Sistema o Unidad de Amortiguación del Sistema de Suspensión Trasera del Vehículo FSAE.

#### 4.1.4. SISTEMA DE FRENOS.

Los requerimientos y especificaciones del Sistema de Frenos del Vehículo FSAE, indican que el vehículo deberá estar equipado con un sistema de frenado que opere sobre las cuatro ruedas, con dos circuitos independientes operados por un control o sistema simple.



El Sistema de Frenos debe ser diseñado para operar sobre una masa de 300 [kg], aproximadamente, que es el peso promedio de los vehículos participantes, además debe actuar y operar a máximas velocidades de entre 105 y 120 [km/h] y a una velocidad promedio de 60 [km/h]. El sistema de frenos debe proporcionar alto desempeño, eficiencia y estabilidad durante la operación. El peso y las dimensiones del sistema de frenos deben ser tan pequeñas como sea posible, ya que el tamaño del caliper (mordaza), está en relación con el diámetro de los discos de frenado, así como debe operar a una presión de compresión final en combinación del sistema de la bomba de freno y los cilindros del caliper (mordaza) entre 6.8 y 7.7 [MPa] que es el rango de operación en los vehículos de competencia FSAE.<sup>[7]</sup>

Puede mejorarse el frenado y la uniformidad del mismo, con un sistema ABS aplicado en las cuatro ruedas y con una barra de balance dentro del sistema; ésta decisión varía en función de los recursos económicos y tecnológicos que deseen involucrarse, además de ser un sistema que incluye sensores en cada uno de los sistemas y calibración especializada.

El sistema de frenos con dos circuitos independientes o con un sistema secundario, permite reducir la velocidad y detener o parar en su totalidad al vehículo, aún cuando haya falla en cualquiera de uno de los cilindros que afecte a dos ruedas (delanteras o traseras) del vehículo. La razón del diseño es la seguridad en primer lugar. El sistema de frenado dual, doble o de dobles cilindros maestros independientes, son requeridos para este tipo de sistema. La ventaja principal de este diseño es, si uno de los sistemas (frontal o trasero) falla, el otro (frontal o trasero) actúa en operación y puede detener al vehículo con sólo dos neumáticos.

Las ventajas de los frenos de disco son su estabilidad, eficiencia y menor distancia de frenado. Pueden combinarse con frenos de disco simple, simples-ventilados o dobles-ventilados. Esto también proporciona mejores resultados y un mejor desempeño de frenado y del propio sistema de frenos, ya que se encuentra asociado a las altas temperaturas desarrolladas por las altas velocidades del vehículo.

Es por ésta razón, que para nuestro diseño, se seleccionó el uso de frenos de disco ventilados en las cuatro ruedas, ya que este sistema puede perder rápidamente la transferencia de calor a través del aire, causada por la fricción de las pastillas de frenado, que son alcanzadas por el paso de las ventilas cada vez que son aplicados los frenos. La selección del Sistema de Frenado que se diseñó, es un sistema de frenos independientes en cada rueda, con frenos de disco ventilados en las 4 ruedas

#### **4.1.4.1. SISTEMA DE FRENOS DELANTEROS.**

El Diseño del Sistema de Frenos Delanteros, es un sistema de frenos independientes en cada rueda, con frenos de disco ventilados en las 2 ruedas, de 254 [mm] (10 [inches]) de diámetro y 15 [mm] de espesor. Está comprendido también, con mordazas de doble émbolo o cilindros maestros llamado también sistema doble.



Las mordazas son de tipo flotante con una inclinación frontal de  $45^\circ$  sobre lo horizontal, aprovechando la inercia de giro de las ruedas, reduciendo y mejorando la distancia de frenado.

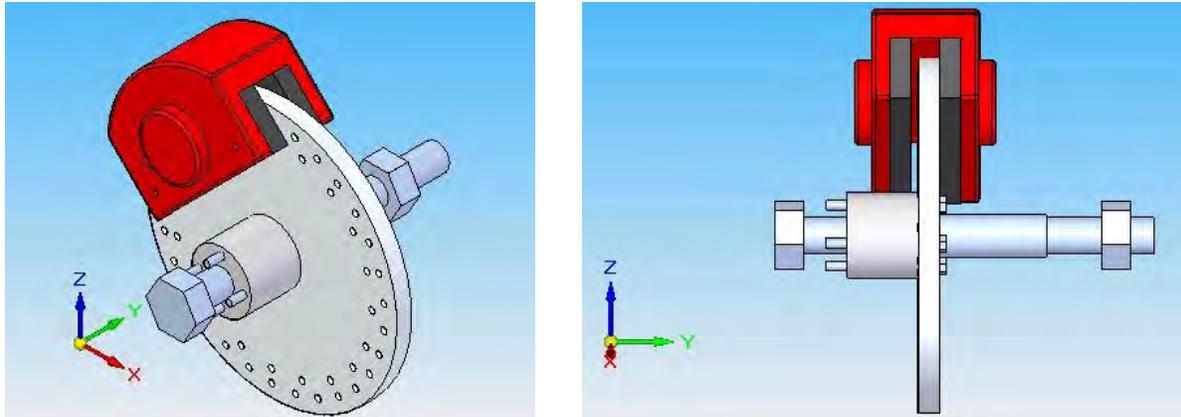


Fig. 4.1.4.1. Diseño del Sistema de Frenos Delanteros del Vehículo FSAE.

#### 4.1.4.2. SISTEMA DE FRENOS TRASEROS.

El Diseño del Sistema de Frenos Traseros, es un sistema de frenos independientes en cada rueda, con frenos de disco ventilados en las 2 ruedas, de 254 [mm] (10 [inches]) de diámetro y 15 [mm] de espesor. Está comprendido también, con mordazas de doble émbolo o cilindros maestros llamado también sistema doble. Las mordazas son de tipo flotante con una inclinación frontal de  $45^\circ$  sobre la horizontal, aprovechando la inercia de giro de las ruedas, reduciendo y mejorando la distancia de frenado.

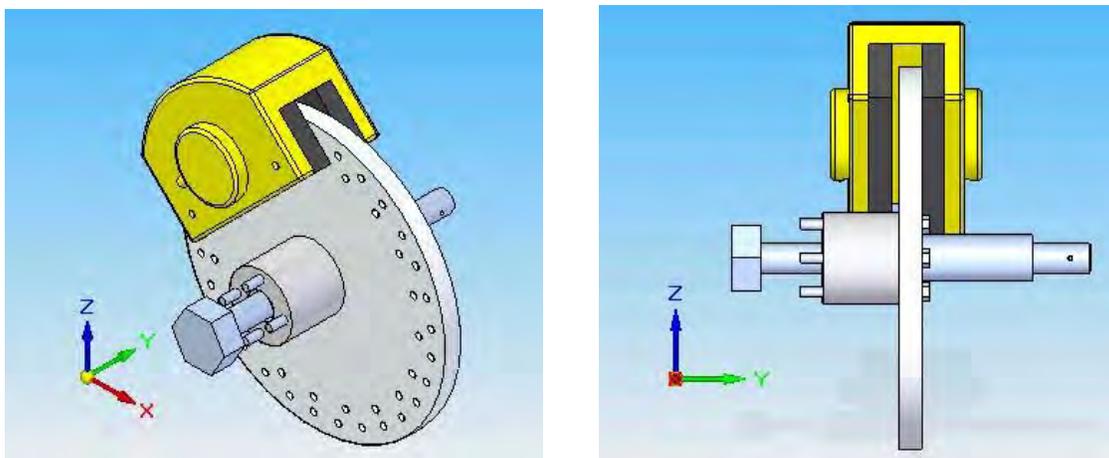


Fig. 4.1.4.2. Diseño del Sistema de Frenos Traseros del Vehículo FSAE.



#### 4.1.4.3. BOMBA DE FRENO.

El Diseño de la Bomba de Frenos que se realizó, incluye un sistema con dos circuitos independientes operados por un control o sistema simple.

La propuesta del diseño de la bomba, es aproximada a una comercial. Lo más recomendable para este sistema, es la compra del sistema completo, ya que es de bajo costo, comparado si se fabricara, esto se eleva demasiado sobre todo en el tiempo de proceso y probablemente en la calidad de las piezas y mano de obra, ya que se está hablando de una única pieza de fabricación en la inversión de un sólo molde de fundición y el proceso de fundición que pretenda utilizarse y los procesos de maquinado y acabado final, así como la inyección de los elementos plásticos que la integran.

El objetivo de la bomba del sistema de frenado, es proporcionar un frenado inmediato a la activación del pedal y de los sistemas, dando rigidez y uniformidad al paso de flujo del fluido de frenado hacia los sistemas de compresión (émbolos de la bomba y de las mordazas) y de estabilizar el control del vehículo de manera controlada.

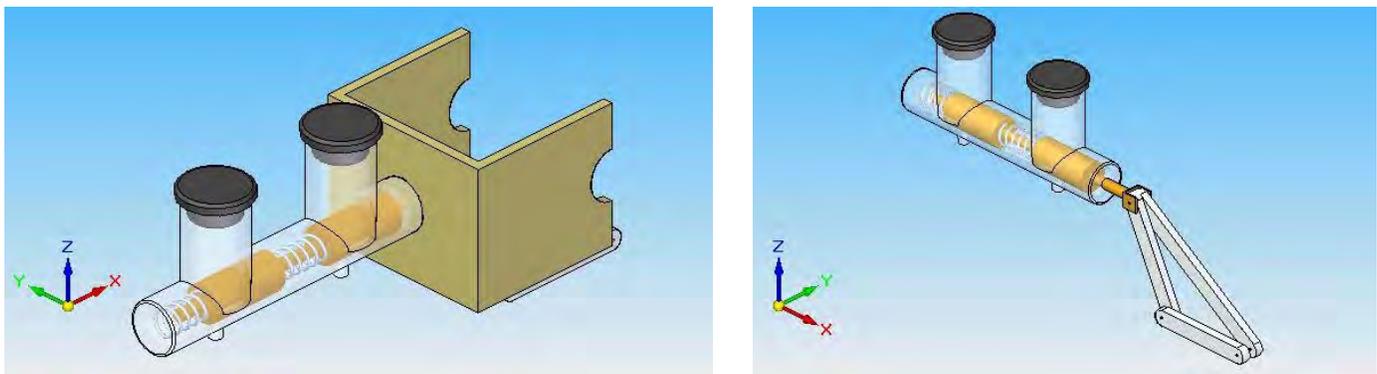


Fig. 4.1.4.3. Diseño de la Bomba de Freno del Vehículo FSAE.

#### 4.1.4.4. LÍNEAS DE FRENO.

Para llevar a cabo la activación del sistema de frenado, deben instalarse las tuberías por las cuales circula el fluido de operación del sistema. Esta tubería o tuberías, se les conoce con el nombre de líneas de freno.



- Existen dos posibles configuraciones para la activación del sistema de frenos hacia los neumáticos:

*La primer configuración*, puede hacerse dirigiendo de la salida de los émbolos de la bomba de frenos, dos válvulas que distribuyen o proporcionan la dirección de flujo del fluido hacia las ruedas de la línea que desee aplicarse, es decir, de una de las tomas de la salida de un émbolo de la bomba de frenos, se coloca una válvula y, ésta es dirigida hacia las ruedas derecha e izquierda del sistema delantero o trasero respectivamente y la segunda toma de la salida del émbolo de la bomba debe aplicarse hacia las ruedas derecha e izquierda del sistema delantero o trasero respectivamente. Una de las tomas de la bomba se aplica a las dos ruedas delanteras (derecha e izquierda) y la otra toma de la bomba se aplica a las ruedas traseras (derecha e izquierda).

Las ventajas de ésta configuración son: estabilidad de frenado, buen control a la reacción del camino, la calibración e instalación es fácil, rápida y sencilla, además, si falla un sistema, entra en operación el segundo con un frenado uniforme. Las desventajas son un solo suministro de fluido, es decir podría instalarse un segundo suministro para dirigir el fluido a cada rueda con válvulas que proporcionen el flujo de manera independiente.

*La segunda configuración*, puede hacerse dirigiendo de la salida de los émbolos de la bomba de frenos, dos válvulas que distribuyen o proporcionan la dirección de flujo del fluido hacia las ruedas de la línea que desee aplicarse, es decir, de una de las tomas de la salida de un émbolo de la bomba de frenos, se coloca una válvula y, ésta es dirigida hacia una de las ruedas derecha o izquierda del sistema delantero y otra hacia la rueda contraria derecha o izquierda del sistema trasero y/o viceversa respectivamente y, la segunda toma de la salida del émbolo de la bomba debe aplicarse hacia la rueda opuesta derecha o izquierda del sistema delantero y la otra hacia la rueda contraria y opuesta al sistema trasero y/o viceversa respectivamente. Una de las tomas de la bomba se aplica a una rueda delantera y a otra trasera en diagonal o en sentidos opuestos (delanteraderecha y trasera-izquierda) y la otra toma de la bomba se aplica a las ruedas opuestas (trasera-derecha y delantera-izquierda).

Las ventajas de ésta configuración son: estabilidad de frenado, buen control a la reacción del camino, además, si falla un sistema, entra en operación el segundo con un frenado uniforme. Las desventajas son la instalación comparada con la otra configuración, es compleja, ya que deben unirse 4 diferentes líneas de frenado para cada rueda y su calibración es laboriosa, también deben incorporarse válvulas independientes para cada rueda, esto incrementa el costo del sistema y el frenado en algunas ocasiones genera patinaje o giro del vehículo por la aplicación del sistema a ruedas opuestas, es decir, cuando no se calibran correctamente los sistemas, no se genera la misma presión de operación en los émbolos de cada mordaza.

Para el diseño de las líneas de freno del vehículo FSAE, se eligió la primera configuración, con una toma de la bomba y su respectiva válvula, a dos ruedas delanteras y; la segunda toma de la bomba y su válvula, a las dos ruedas traseras (Fig. 4.1.4.4.).

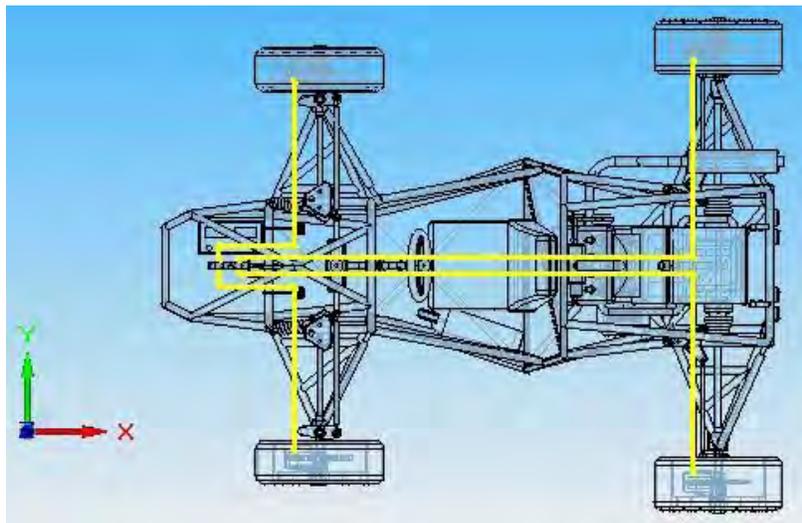


Fig. 4.1.4.4. Diseño de las Líneas de Freno del Vehículo FSAE.

#### 4.1.5. SISTEMA DE DIRECCIÓN.

El Sistema de Dirección seleccionado, se diseñó con una caja de dirección flotante o aérea, de tipo piñón y cremallera, unida con una junta universal del eje de la caja de dirección al volante para el giro y movimiento de la misma y el giro de los neumáticos. Está unida por dos brazos de dirección en cada lado, unido a través de rótulas esféricas hacia las mazas de dirección colocadas sobre las mazas de la suspensión (Fig. 4.1.5.a.).

A través de la utilización de la Condición de Ackerman, podemos determinar las relaciones entre los radios de giro interior y exterior del vehículo FSAE, los cuales, aunque son muy simples en construcción, nos generan una solución total al problema de igualdad entre los ángulos de giro teórico y real.

Para obtener el Ángulo de Giro Exterior Teórico o de Diseño, debemos resolver la Ecuación General de acuerdo a la Condición de Ackerman, donde establecemos el Ángulo de Giro Interior entre 25° y 35° como valor óptimo máximo determinado en el capítulo de Sistemas del Vehículo FSAE.

De la Ecuación General:

$$\frac{1}{\tan \theta_E} - \frac{1}{\tan \theta_I} = \frac{B}{L} \dots\dots\dots (4.1.5.)$$



Datos:

$\theta_E = ?$       *Ángulo de Giro Exterior.*

$\theta_i = 30^\circ$       *Ángulo de Giro Interior.*

$B = 1550$  [mm]      *Distancia entre Ejes.*

$L = 1530$  [mm]      *Distancia del Brazo de Dirección del Vehículo (Vía Delantera).*

Entonces, despejando  $\theta_E$  de la ecuación, sustituyendo y resolviendo la misma, tenemos:

$$\frac{1}{\tan \theta_E} = \frac{1}{\tan 30^\circ} + \frac{1550[\text{mm}]}{1530[\text{mm}]} \quad \frac{1}{\tan \theta_E} = 2.745 \quad \theta_E = 20.02^\circ$$

El objetivo de esta ecuación, permite que en la construcción del sistema de dirección, se obtengan los ángulos reales  $\theta_{Er}$  y  $\theta_{ir}$ , los cuales tengan una diferencia mínima con respecto a los teóricos  $\theta_{Et}$  y  $\theta_{it}$  diseñados.

Por lo tanto, al observar los resultados, la condición de Ackerman, garantiza que el centro de giro de todas las ruedas del vehículo sea el mismo, es decir, que durante el giro, exista un deslizamiento mínimo entre el neumático y su calzada (huella).

El Sistema de Dirección, fue diseñado de tal forma que fuera compacto, ligero y con un mínimo de partes o elementos, fácil de ajustar, de costo promedio y mantenimiento económico. La geometría utilizada para este sistema y tipo de vehículo fue el adoptado por el Ángulo de Ackerman, que provee de un balance adecuado al giro del vehículo, además de que permite montar y desmontar correcta, eficaz y rápidamente las mazas de las ruedas.

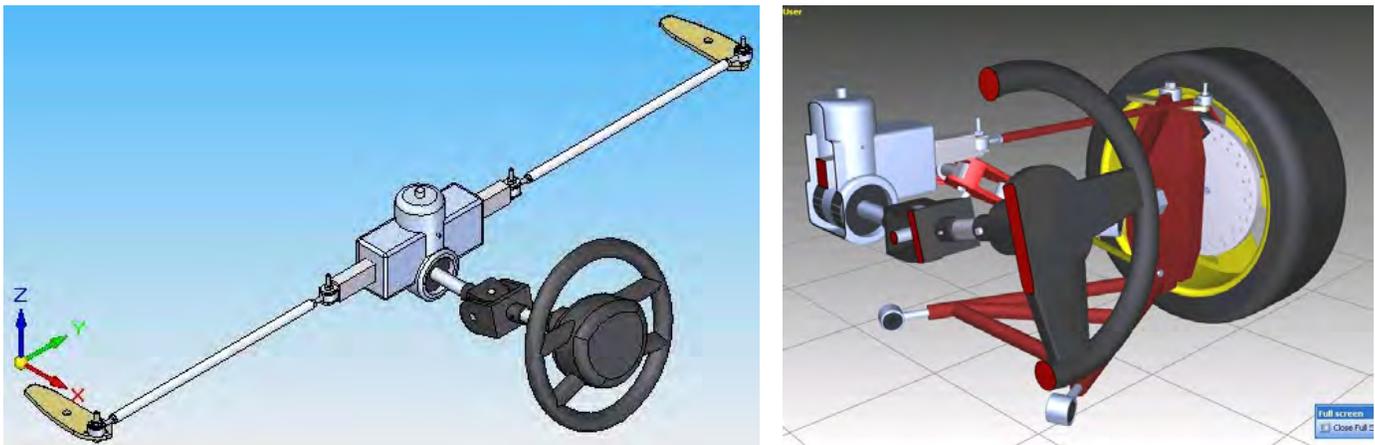


Fig. 4.1.5.a. Diseño del Sistema de Dirección y Vista del Corte-Ensamble del Sistema con Mazas y Neumático del Vehículo FSAE.



#### 4.1.5.1. CAJA DE DIRECCIÓN.

La **Caja de la Dirección** es de tipo flotante, unida (soldada) a la estructura por su parte superior, con el fin de evitar el roce de las piernas y rodillas del piloto a éste sistema. Esta caja puede fabricarse mediante fundición y maquinarse para su acabado final, así como cada uno de los elementos que la forman, como lo son el engrane de dirección y la cremallera; o es posible también la compra de la caja si se tienen patrocinios y/o recursos económicos; existen diferentes tipos de cajas de dirección en el mercado, de varios tipos, marcas y precios. La selección de fabricación o compra del sistema, depende de una matriz de decisiones que involucran costos, tiempos de operación y mano de obra (Fig. 4.1.5.1.).

Para el diseño del vehículo FSAE, recomendamos y diseñamos el uso de una dirección aérea, con el objetivo de aprovechar al máximo el habitáculo del vehículo, así como la cercanía del sistema de dirección a los neumáticos y probar el funcionamiento y comportamiento del diseño de este tipo de sistema aéreo. Así también, no es un diseño común, ya que la mayoría de las universidades participantes, utiliza el sistema de dirección terrestre porque es mucho más sencillo de fabricar, de costo reducido y mucho más fácil de ensamblar a la estructura, además la configuración es diferente, ya que los brazos de la dirección van por debajo de las mazas de suspensión del vehículo.

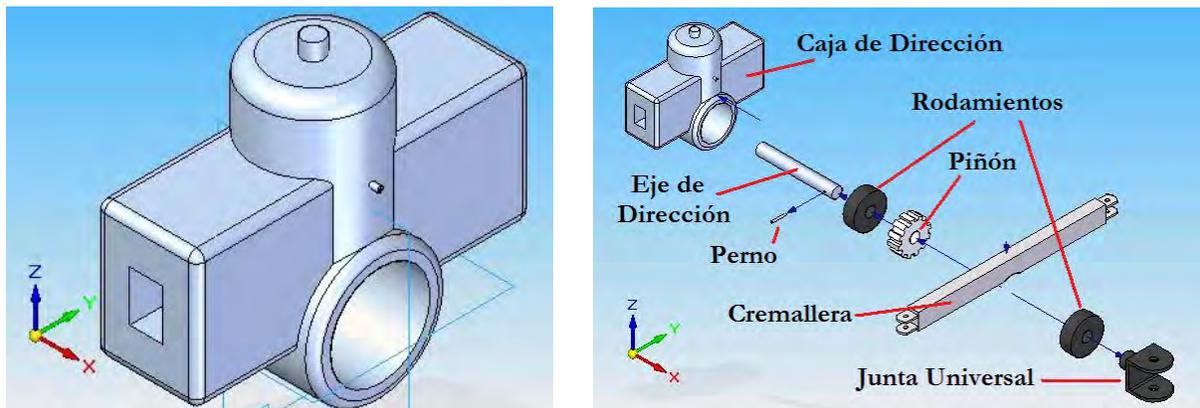


Fig. 4.1.5.1. Diseño y Vista Explosiva del Ensamble de la Caja de Dirección del Vehículo FSAE.

Para proporcionar mayor o menor apertura de giro a los neumáticos en las vueltas, solamente es necesario alargar o reducir el tamaño de los brazos de la dirección. El ángulo diseñado para este sistema, debe permitir el movimiento libre, rápido y eficaz de maniobra en caso de una reacción inesperada del piloto, además de cumplir con las condiciones establecidas de diseño de ángulo y radio de giro máximo y mínimo del vehículo indicadas en el capítulo de Sistemas del Vehículo FSAE y establecido en el reglamento del mismo.



#### 4.1.5.2. MAZAS Y BRAZOS DE LA DIRECCIÓN.

Las **Mazas del Sistema de Dirección**, se ubican sobre las mazas del sistema de suspensión. Éstas, pueden ser fabricadas de acero, aluminio o algún material aleado, deben soportar las cargas de compresión y tensión que son aplicadas por medio de los brazos del sistema de dirección. Es por esta razón, que su diseño involucra tres diferentes variables en sus características de funcionalidad.

En *primer lugar*, es una maza larga, con el propósito de apoyar la mayor área de contacto de la misma, sobre la superficie de las mazas del sistema de suspensión, con un elemento de sujeción al brazo superior del sistema de suspensión; en *segundo lugar* mantiene una geometría rectangular con perfiles o cantos circulares en sus extremos, con el fin de reducir los esfuerzos internos del material producido por las cargas aplicadas; además del diseño de la pieza, debe realizarse un análisis de elemento finito en los puntos críticos donde se generan los esfuerzos cortantes máximos de la pieza, como son el elemento de sujeción principal al sistema de suspensión, los elementos de sujeción del sistema de dirección y la superficie y cantos donde se concentra la mayor carga de operación del sistema, de esta forma garantizamos la eficiencia del sistema y del elemento de sujeción (maza) en conjunto con la operación del vehículo y; en *tercer lugar*, se diseñaron tres posibles configuraciones en la posición de los brazos del sistema de dirección, es decir, puede ajustarse el ángulo del sistema para analizar y estudiar el comportamiento generado en diferentes posiciones (Fig. 4.1.5.2.a.).

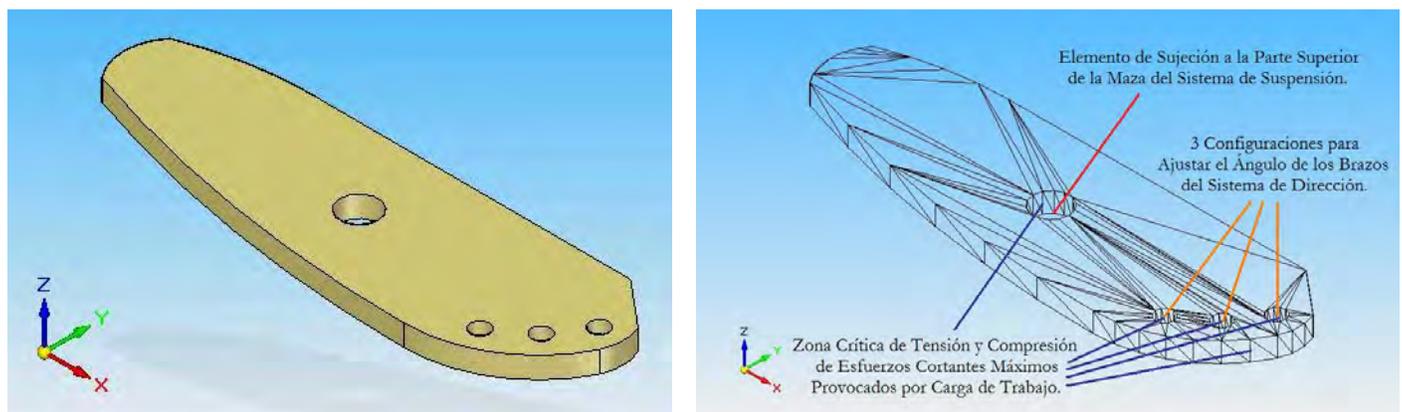


Fig. 4.1.5.2.a. Diseño de las Mazas del Sistema de Dirección del Vehículo FSAE.

Los **Brazos del Sistema de Dirección**, fueron diseñados con tubería de  $\frac{1}{2}$  [inch] de diámetro y pueden fabricarse de aluminio o acero. La longitud de los brazos del sistema, está en función de la longitud de recorrido de la cremallera, así como del ángulo que pretenda efectuarse y de la posición de operación del sistema, así también el sistema puede ajustarse con las rótulas a cada extremo, permitiendo dar más libertad de giro a las ruedas o mantenerlas rígidas (Fig. 4.1.5.2.b.).

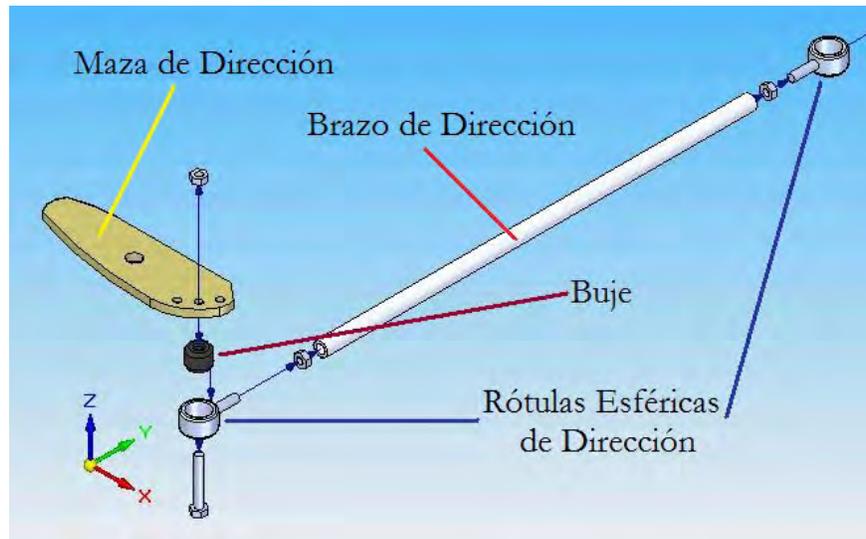


Fig. 4.1.5.2.b. Diseño de los Brazos del Sistema de Dirección del Vehículo FSAE.

A pesar de que el tipo de sistema de dirección aéreo, es un sistema diferente o poco común, se eligió este diseño por su funcionalidad rápida, efectiva y por su ensamblaje, el costo es promedio comparado con el otro sistema, pero hace ver al vehículo mucho más deportivo y vanguardista en cuanto a su diseño y tecnología. Los elementos de sujeción de la cremallera hacia las mazas de dirección y de suspensión, es por medio de rótulas esféricas, con el fin de proporcionar y proveer el movimiento libre al sistema cuando el vehículo experimenta el balance producido por el giro de los neumáticos e inclinaciones en las vueltas y principalmente por la acción del sistema de amortiguación.

### 4.1.5.3. RINES Y NEUMÁTICOS.

La selección del Diseño de los Neumáticos para el Vehículo FSAE, debe comprender al menos dos de tres características del tipo de terreno establecida por el reglamento de la SAE. Estas características son: **Neumáticos para Pavimento Seco**, es decir, para las condiciones óptimas de manejo, maniobrabilidad y pruebas dentro de la competencia; **Neumáticos para Pavimento Húmedo**, en el caso de que haya zonas de la pista con charcos o el pavimento esté húmedo en su totalidad y; en una circunstancia, en la que el clima se presente brumoso y haya lluvia, se requieren **Neumáticos para Terreno Mojado**.

Los neumáticos comerciales que existen para los vehículos de competencia, son neumáticos mucho más delicados y más revolucionados en cuanto a tecnología, es por ello, que existen diferentes configuraciones, marcas, modelos, tipos, pesos, dimensiones, entre otras características de las que se hará la selección para el diseño del vehículo. [Apéndice: C.1.]



#### 4.1.5.3.1. SISTEMA DELANTERO.

Para la elección de los neumáticos y rines delanteros, se tomaron en cuenta diferentes variables en la selección de los mismos, como son: peso del neumático, diámetro exterior, diámetro interior, ancho de la sección interior del rin, ancho total del neumático, ancho de la huella, presión que maneja, material del que está constituido, dureza y/o suavidad, uso (tipo de terreno a emplear), temperatura óptima de trabajo y el costo neto.

Los neumáticos seleccionados, son de costo promedio, y utilizados en su mayoría por las universidades participantes. Estos son de 19.5 [inches] de diámetro exterior, con 15 [inches] de diámetro interior y un ancho de 6.5 [inches].

Los rines son de 15 [inches] de diámetro exterior, con 13 [inches] de diámetro interior y un ancho de 6.5 [inches]. El material que se pretende utilizar es aluminio, ya que reduce el peso de los mismos y en general el peso total del vehículo. Se diseñaron con una configuración de estrella de 5 picos y con un sólo perno como elemento de sujeción para facilitar el montaje y desmontaje rápido en caso de avería o cambio de los sistemas, así mismo, se les dio un perfil agresivo y deportivo para agrandar a la vista al vehículo y a la estética del mismo en la prueba de diseño. Lo que recomendamos, es la compra de los elementos, ya que existen diferentes marcas, configuraciones, estilos, modelos, materiales, aleaciones y precios; la selección de fabricación depende del recurso económico y patrocinios que se obtengan (Fig. 4.1.5.3.1.).

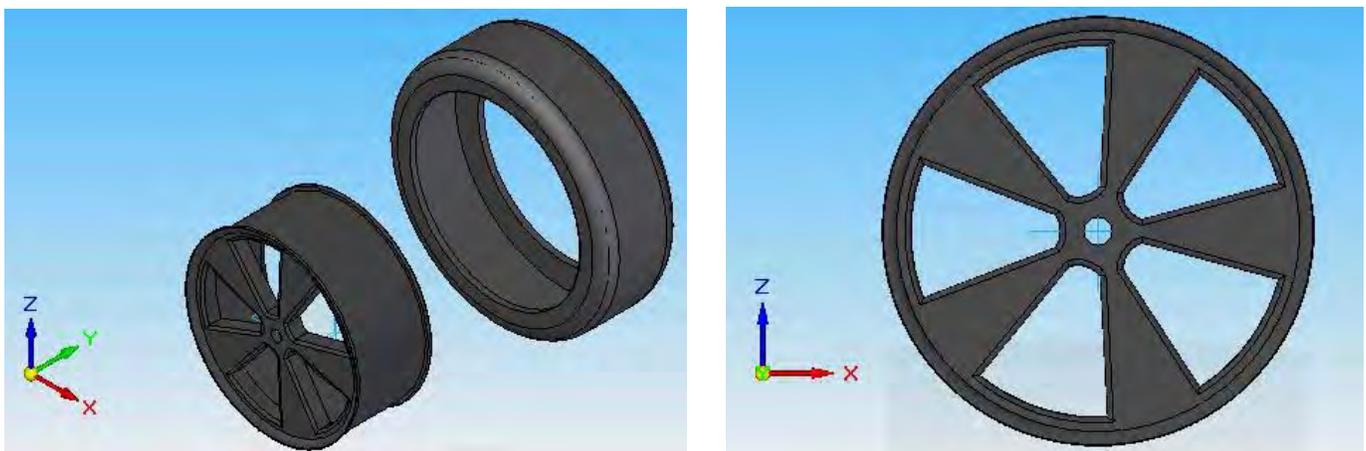


Fig. 4.1.5.3.1. Diseño de los Rines y Neumáticos Delanteros del Vehículo FSAE.



#### 4.1.5.3.2. SISTEMA TRASERO.

Para la elección de los neumáticos y rines traseros, se tomaron en cuenta diferentes variables en la selección, como son: peso del neumático, diámetro exterior, diámetro interior, ancho de la sección interior del rin, ancho total del neumático, ancho de la huella, presión que maneja, material del que está constituido, dureza o/y suavidad, uso (tipo de terreno a emplear), temperatura óptima de trabajo y el costo neto.

Los neumáticos seleccionados, son de costo promedio, y utilizados en su mayoría por las universidades participantes. Estos son de 19.5 [inches] de diámetro exterior, con 15 [inches] de diámetro interior y un ancho de 8.0 [inches].

Los rines son de 15 [inches] de diámetro exterior, con 13 [inches] de diámetro interior y un ancho de 8.0 [inches]. El material que se pretende utilizar es aluminio, ya que reduce el peso de los mismos y en general el peso total del vehículo. Se diseñaron de igual manera que los delanteros, con una configuración de estrella de 5 picos y con un sólo perno como elemento de sujeción para facilitar el montaje y desmontaje rápido en caso de avería o cambio de los sistemas, así mismo, se les dio un perfil agresivo y deportivo para agrandar a la vista al vehículo y a la estética del mismo en la prueba de diseño. Lo que recomendamos, es la compra de los elementos, ya que existen diferentes marcas, configuraciones, estilos, modelos, materiales, aleaciones y precios; la selección de fabricación depende del recurso económico y patrocinios que se obtengan (Fig. 4.1.5.3.2.).

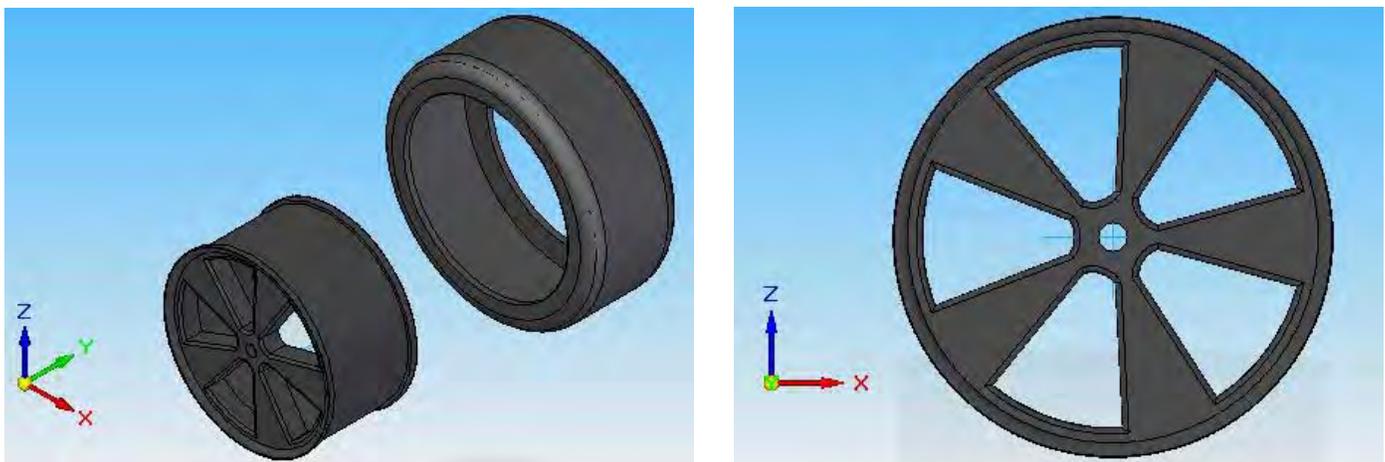


Fig. 4.1.5.3.2. Diseño de los Rines y Neumáticos Traseros del Vehículo FSAE.



#### 4.1.6. SISTEMA ELÉCTRICO.

Otro de los sistemas que conforma el vehículo FSAE, es el Sistema Eléctrico. *El Sistema Eléctrico es de gran importancia para el funcionamiento del vehículo y en general para cualquier vehículo automotor*, es por ésta razón, que no dejamos inconcluso este sistema como parte elemental del funcionamiento del vehículo. Éste, cuenta con un gran número de dispositivos eléctricos, pero sólo se diseñaron los principales para su operación. El diseño de este sistema, debe involucrar los sistemas elementales de operación que son establecidos por el reglamento del vehículo FSAE.

El vehículo debe contar con una fuente principal de energía (Acumulador) que es el dispositivo principal del cual se conectan todos los elementos eléctricos, como son: circuitos, sensores, cableado, fusibles, luces, botones e interruptores de encendido y operación, ventilador, sistema de encendido electrónico del motor, fuentes de poder, instrumentos, entre otros sistemas.

##### 4.1.6.1. ACUMULADOR.

El sistema eléctrico, debe actuar por medio de una o varias fuentes de energía de corriente directa (depende el diseño del sistema eléctrico, el voltaje y corriente establecido y los sistemas que requieran fuentes de poder). Ésta, es generada, por medio de un acumulador de 12-16 Placas (Celdas) a 12 [V] de corriente directa, que proporciona la activación de los dispositivos o elementos eléctricos y electrónicos como son botones o interruptores de operación, sistema de encendido del vehículo, instrumentos, sensores, fuentes de poder, luces de freno, fusibles, atenuador de impacto, ventilador, entre otros.

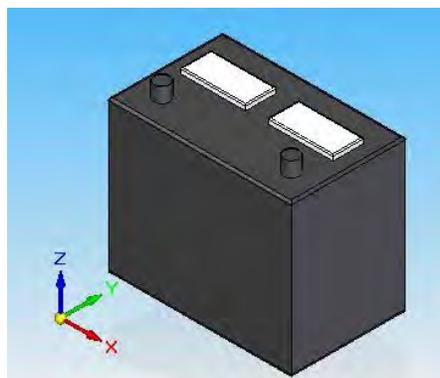


Fig. 4.1.6.1. Diseño del Acumulador del Vehículo FSAE.



#### 4.1.6.2. VENTILADOR.

Para el Sistema de Enfriamiento del Vehículo FSAE, como ya se mencionó, se diseñó con un radiador convencional enfriado por un ventilador a regímenes de velocidad variable.

El sistema de enfriamiento del radiador por medio de un ventilador, debe proporcionar el enfriamiento o reducción de temperatura del fluido que circula a través del radiador a consecuencia del calentamiento por la fricción de los componentes del motor y por las altas temperaturas en la cámara de gases. Este fluido, circula por las camisas de enfriamiento del motor a través de una bomba de agua hacia al radiador y así sucesivamente en un ciclo cerrado de enfriamiento.

En nuestro diseño, involucramos un ventilador, que es colocado en la parte superior del radiador y trasera del vehículo; ésta selección se tomó en base a criterios de diseño y costos, como lo son: el montaje, desmontaje y operación rápida y efectiva de este tipo de sistema, además de que su funcionamiento es el más común y es un sistema mucho más económico, además de reducir en un gran porcentaje el peso del vehículo y hacerlo más ligero, que es uno de los objetivos principales en el diseño y al momento de la competencia.

Además de ser un sistema de rápido ensamblaje y de bajo costo, se eligió un ventilador simple a un número de regímenes de velocidad variable con un sistema de medición de activación sencillo (termostato) para su operación, ya sea el caso de que el vehículo se encuentre con el motor encendido o apagado después de su operación. Además de reducir peso y espacio, no es un diseño complejo.

El tipo de ventilador que desee adquirirse para el vehículo, depende de los recursos económicos que se tengan, ya que depende de las dimensiones de los ventiladores comerciales, el peso, la potencia de operación, la eficiencia, las revoluciones por minuto a las que opera, el tipo de sistema o sensores que maneja, así como la conexión al sistema eléctrico, el costo, entre otras variables (Fig. 4.1.6.2.).

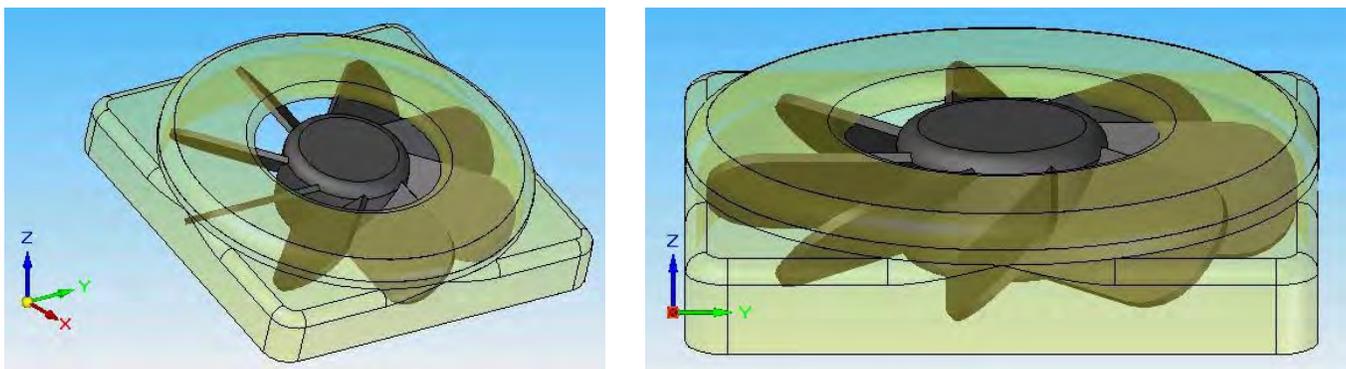


Fig. 4.1.6.2. Diseño Ejemplificado del Ventilador del Vehículo FSAE.



### 4.1.6.3. LUZ DE FRENO.

El vehículo debe estar equipado con un sistema de luces de frenado, que sean activadas al momento de aplicar el pedal de freno, así mismo deben colocarse en una posición visible del vehículo para la reacción del piloto con el resto de los pilotos competidores de otras universidades participantes. Pueden ser diseñados con un sistema de iluminación convencional de luz halógena o un dispositivo de iluminación de LED's (Light Emissor Diodo) que ahorra en gran medida el voltaje de energía eléctrica directa. El diseño, selección, compra de materiales y/o fabricación del sistema, depende de la complejidad de los sistemas que quieran emplearse, así como de los recursos económicos que se tengan.

Para el vehículo FSAE, se incluyen dos grupos ópticos de luces traseras, integradas con luz de freno y luz de emergencia o intermitente. El diseño es vanguardista con cubiertas transparentes o en gota de agua, con el fondo de la luz de freno al color deseado de freno e intermitente o también puede ser transparente con focos del color de indicación. El diseño fue el seleccionado, con el fin de proporcionar un toque deportivo al vehículo con líneas o contornos curvos, semejante a los que han diseñado ingenieros y diseñadores reconocidos a nivel mundial, en su mayoría para vehículos deportivos, comerciales y de marcas de prestigio.

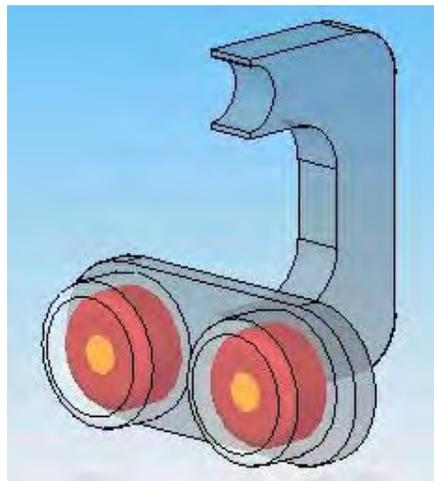


Fig. 4.1.6.3. Diseño de las Luces de Freno e Indicación del Vehículo FSAE.



## 4.2. MONTAJE DE LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE.

### 4.2.1. MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL VEHÍCULO FSAE.

El Montaje del Sistema de Transmisión, incluye el ensamble de los siguientes elementos:

- **Embrague:** Volante de Inercia, Campana, Maza, Muelles, Multidisco, Cadena de Transmisión y Cubierta del Embrague.
- **Caja de Cambios:** Ejes de Transmisión y Engranajes.
- **Árbol o Tren de Transmisión:** Juntas Universales, Juntas Homocinéticas y Semiejes de Transmisión.
- **Diferencial o Puente Motriz:** Engranajes Piñones Satélites y Planetarios.

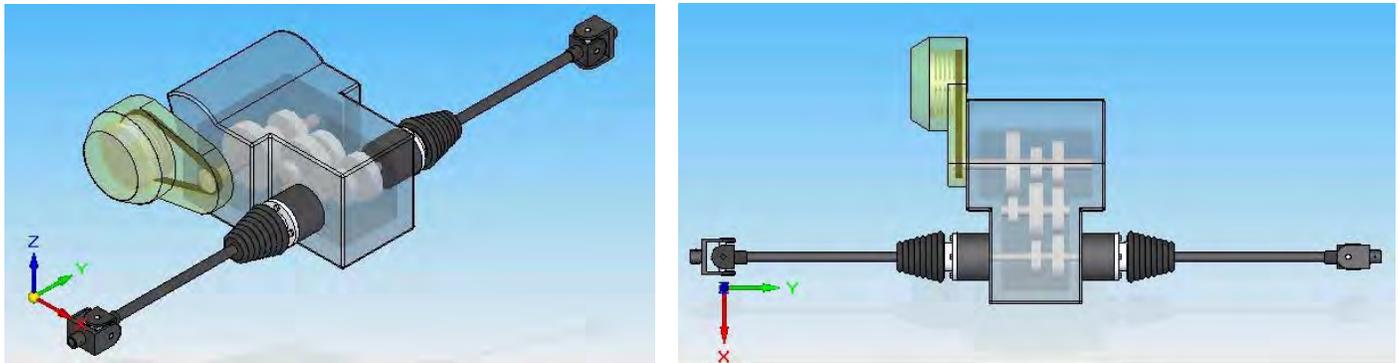


Fig. 4.2.1. Montaje de los Sistemas de Transmisión del Vehículo FSAE.

### 4.2.2. MONTAJE DE LOS SISTEMAS DELANTEROS DEL VEHÍCULO FSAE.

El Montaje de los Sistemas Delanteros, incluye el ensamble de los siguientes elementos:

- **Sistema de Suspensión Delantera:** Mazas y Brazos de Suspensión, Push Rods, Rockers, Amortiguadores, Muelles, Rótulas y Bujes.
- **Sistema de Dirección:** Caja de Dirección, Brazos de Dirección, Mazas de Dirección, Rótulas Esféricas, Juntas Universales y Volante de Dirección.
- **Sistema de Frenos:** Discos Ventilados de Freno, Mordazas, Pastillas de Freno y Elementos de Sujeción del Rin.

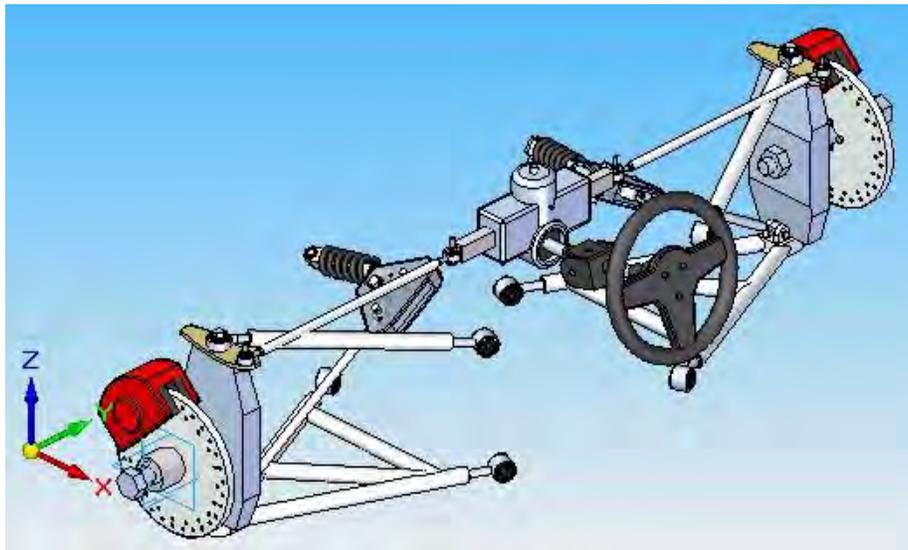


Fig. 4.2.2. Montaje de los Sistemas Delanteros del Vehículo FSAE.

#### 4.2.3. MONTAJE DE LOS SISTEMAS TRASEROS Y DEL SISTEMA DE FUERZA MOTRIZ DEL VEHÍCULO FSAE.

El Montaje de los Sistemas Traseros y del Sistema de Fuerza Motriz, incluye el ensamble de los siguientes elementos:

- **Sistema de Suspensión Trasera:** Mazas y Brazos de Suspensión, Push Rods, Rockers, Amortiguadores, Muelles, Rótulas y Bujes.
- **Sistema de Tren de Transmisión:** Embrague, Caja de Cambios, Ejes de Transmisión, Diferencial, Juntas Universales y Juntas Homocinéticas.
- **Sistema de Frenos:** Discos Ventilados de Freno, Mordazas, Pastillas de Freno, Elementos de Sujeción del Rin, Rines, Neumáticos y Tornillos de Sujeción.
- **Motor:** Múltiple de Admisión, Múltiple de Escape, Silenciador, Tubo de Escape, Tanque de Combustible, Bomba de Combustible, Filtro de Combustible, Carburador, Filtro de Aire y Filtro de Aceite.
- **Sistema de Enfriamiento:** Radiador, Mangueras y Líneas de Enfriamiento.

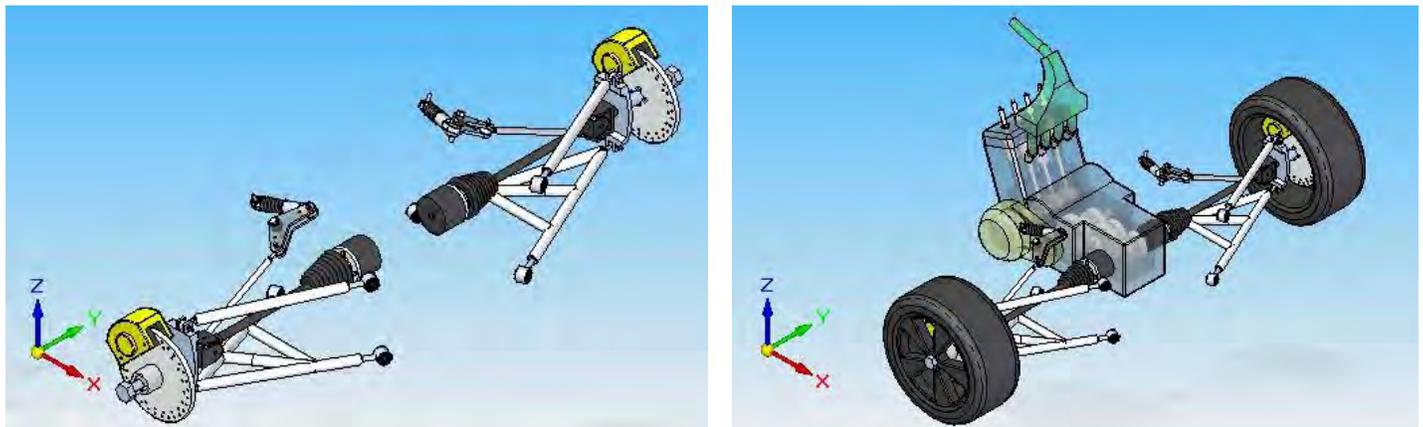


Fig. 4.2.3. Montaje de los Sistemas Traseros y del Sistema de Fuerza Motriz del Vehículo FSAE.

#### 4.2.4. MONTAJE DE LOS SISTEMAS DELANTEROS Y TRASEROS DEL VEHÍCULO.

El Montaje de los Sistemas Delanteros y Traseros, incluye el ensamble de los siguientes elementos:

- **Sistema de Suspensión Delantera:** Mazas y Brazos de Suspensión, Push Rods, Rockers, Amortiguadores, Muelles, Rótulas y Bujes.
- **Sistema de Dirección:** Caja de Dirección, Brazos de Dirección, Mazas de Dirección, Rótulas Esféricas, Juntas Universales y Volante de Dirección.
- **Sistema de Frenos Delanteros:** Discos Ventilados de Freno, Mordazas, Pastillas de Freno, Válvulas de Distribución de Fluido, Líneas de Freno, Elementos de Sujeción del Rin, Rines, Neumáticos y Tornillos de Sujeción.
- **Sistema de Suspensión Trasera:** Mazas y Brazos de Suspensión, Push Rods, Rockers, Amortiguadores, Muelles, Rótulas y Bujes.
- **Sistema de Tren de Transmisión:** Embrague, Caja de Cambios, Ejes de Transmisión, Diferencial, Juntas Universales y Juntas Homocinéticas.
- **Sistema de Frenos Traseros:** Discos Ventilados de Freno, Mordazas, Pastillas de Freno, Válvulas de Distribución de Fluido, Líneas de Freno, Elementos de Sujeción del Rin, Rines, Neumáticos y Tornillos de Sujeción.
- **Motor:** Múltiple de Admisión, Múltiple de Escape, Silenciador, Tubo de Escape, Tanque de Combustible, Bomba de Combustible, Filtro de Combustible, Carburador, Filtro de Aire y Filtro de Aceite.
- **Sistema de Enfriamiento:** Radiador, Mangueras y Líneas de Enfriamiento.

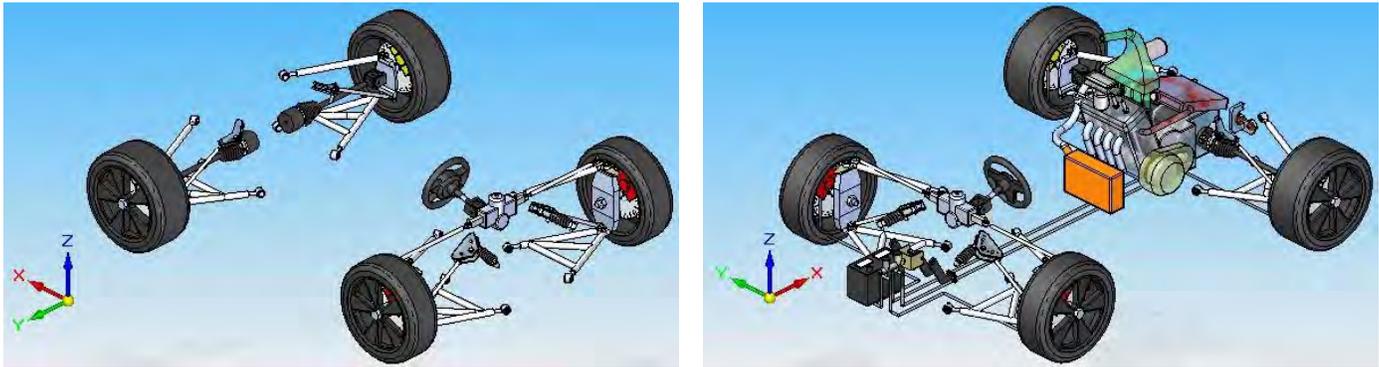


Fig. 4.2.4. Montaje de los Sistemas Delanteros y Traseros del Vehículo FSAE.

#### 4.2.5. MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL VEHÍCULO FSAE.

El Montaje de los Sistemas de la Estructura, incluye el ensamble de los siguientes elementos:

- **Sistema de Estructura:** Paneles del Piso y Firewall, Dispositivos Soldados, Bomba de Freno, Pedales, Sujeción del Sistema Eléctrico, Luces de Freno, Batería, Líneas del Sistema de Frenos, Montaje del Motor, Sujeción de los Sistemas de Suspensión y Montaje de la Carrocería.
- **Sistema de Suspensión Delantera:** Mazas y Brazos de Suspensión, Push Rods, Rockers, Amortiguadores, Muelles, Rótulas y Bujes.
- **Sistema de Dirección:** Caja de Dirección, Brazos de Dirección, Mazas de Dirección, Rótulas Esféricas, Juntas Universales y Volante de Dirección.
- **Sistema de Frenos Delanteros:** Discos Ventilados de Freno, Mordazas, Pastillas de Freno, Válvulas de Distribución de Fluido, Líneas de Freno, Elementos de Sujeción del Rin, Rines, Neumáticos y Tornillos de Sujeción.
- **Sistema de Suspensión Trasera:** Mazas y Brazos de Suspensión, Push Rods, Rockers, Amortiguadores, Muelles, Rótulas y Bujes.
- **Sistema de Tren de Transmisión:** Embrague, Caja de Cambios, Ejes de Transmisión, Diferencial, Juntas Universales y Juntas Homocinéticas.
- **Sistema de Frenos Traseros:** Discos Ventilados de Freno, Mordazas, Pastillas de Freno, Válvulas de Distribución de Fluido, Líneas de Freno, Elementos de Sujeción del Rin, Rines, Neumáticos y Tornillos de Sujeción.
- **Motor:** Múltiple de Admisión, Múltiple de Escape, Silenciador, Tubo de Escape, Tanque de Combustible, Bomba de Combustible, Filtro de Combustible, Carburador, Filtro de Aire y Filtro de Aceite.



- **Sistema de Enfriamiento:** Radiador, Mangueras y Líneas de Enfriamiento.
- **Sistema Eléctrico:** Batería, Cableado, Fusibles, Circuitos, Luces de Freno, Botones e Interruptores de Operación, Sensores, Fuentes de Poder, Sistema de Encendido Electrónico del Motor, Instrumentos y Ventilador.
- **Misceláneos:** Asiento y Respaldo, Cabecera, Instrumentos de Lectura, Cinturones de Seguridad, Extintor, Chicotes, Tortillería, Tuercas y Pernos.

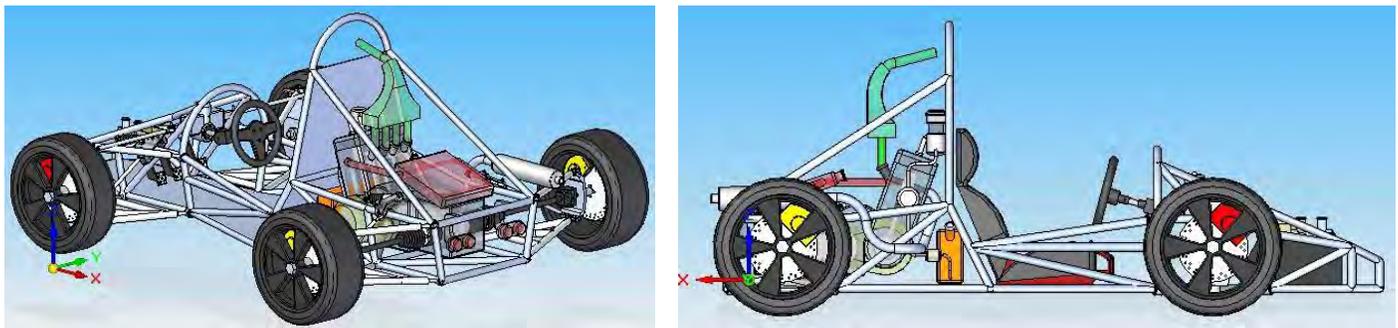


Fig. 4.2.5. Montaje de la Estructura y Sistemas del Vehículo FSAE.

### 4.3. CONFIGURACIÓN FINAL DEL VEHÍCULO FÓRMULA SAE.

#### 4.3.1. DISEÑO DE LA CARROCERÍA.

El principal objetivo de diseño de este sistema, debe involucrar una carrocería que sea ligera, de alta dureza y resistente a impactos, resistente a diversas condiciones climáticas como nieve, lluvia, lodo, calor, arena, etc., resistente a la corrosión, con un atractivo aspecto y con bajos costos de producción y de fácil mantenimiento.

*Nota:* Esto incluye, la realización de una investigación de mercado y una adecuada selección de materiales.

La carrocería también debe proteger al conductor y a los propios sistemas del vehículo, de cualquier objeto que pudiera introducirse o incrustarse dentro del mismo como son piedras, ramas, piezas sueltas, etc. Asimismo, la carrocería, al ser un complemento de la estructura, también tiene la función de absorber parte de la energía presente en los impactos y si llega a romperse, deberá hacerlo de tal forma que los fragmentos no impacten y lastimen al conductor e incluso a otros pilotos y vehículos participantes.



El Diseño de la Carrocería del Vehículo, es un punto importante en la apariencia estética y agrado visual del vehículo, en conjunto con el funcionamiento, versatilidad, rendimiento, flexibilidad y eficiencia del vehículo. Una consideración clave al momento de diseñar la carrocería de un vehículo, es la *estética*, la cual influye en el gusto personal, diseño, apariencia, gama de colores, armonía de las líneas y contornos, vanguardia y moda, entre otros. La carrocería juega un papel muy importante en el vehículo, no solo es la parte exterior del vehículo, sino es también la presentación del mismo ante los clientes como producto final.

Un factor muy importante que debe de tomarse en cuenta en el diseño de la carrocería, es el peso, debido a las dimensiones en su totalidad que conforman este sistema. Se debe realizar una adecuada selección del material de la carrocería, que sea de bajo peso, resistente a los impactos, que sea fácil de trabajar, y que no sea costoso.

Otro aspecto, es la colocación de los paneles o piezas de la carrocería sobre el vehículo. Estos deberán estar diseñados de tal manera, que el ensamble y desensamble de las piezas sea rápido, con el fin de tener acceso inmediato al interior del vehículo y a los diferentes sistemas que conforman la estructura.

El diseño de la carrocería debe considerar, incluida la imagen estética final; los acabados, que deben ser de primera calidad y con colores llamativos, que despierten el interés de los entusiastas del automovilismo deportivo. Además de contar con dicho diseño estético y moderno, la carrocería va acompañada con la *aerodinámica*, la cual influye en el consumo de combustible, la velocidad máxima y los niveles acústicos, entre otros factores.

Las propuestas de diseño de diferentes carrocerías, deben analizarse en un túnel de viento, con el propósito de aseverar su afectividad y observar las líneas de flujo que circulan y que se presentan en la superficie del vehículo, tratando de mejorar la propuesta de diseño.

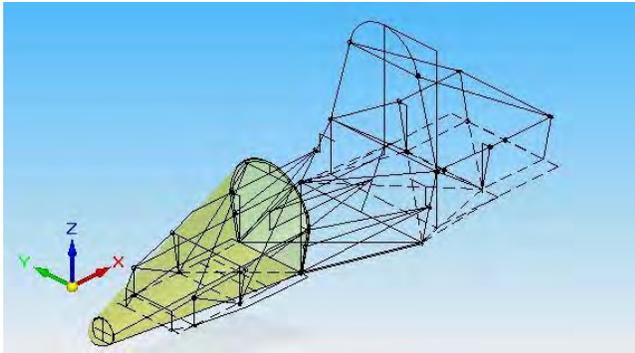
La fabricación del sistema, puede llevarse a cabo con diferentes procesos y materiales, entre los más conocidos pueden ser de acero, aluminio, fibra sintética (vidrio o carbono), Kevlar, polímero, cartón, unicele, entre otros. La diferencia en el uso de estos materiales se encuentra en el peso, el costo y el proceso de manufactura que requiera emplearse.

La selección del material y proceso de fabricación, está en función de los recursos económicos con que se cuenten y del estudio de mercado que se realice, así como del propio manejo de los materiales para la fabricación del sistema.

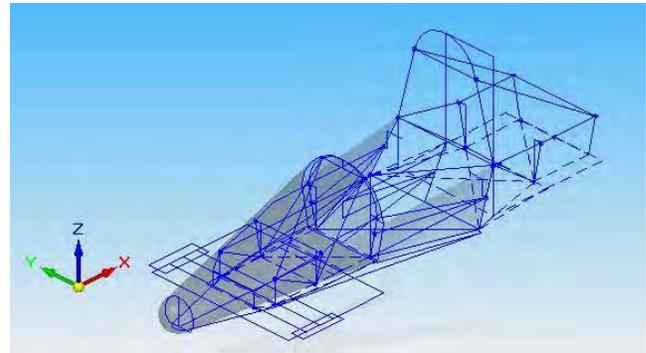
El diseño de las diferentes propuestas de Carrocerías del Vehículo FSAE, involucran líneas y contornos curvos, un perfil bajo y terminados en punta (en forma de avión), para aprovechar el paso del aire hacia los lados del vehículo, además se propone el uso de dos diferentes diseños de alerones en el vehículo (Fig. 4.3.1.).



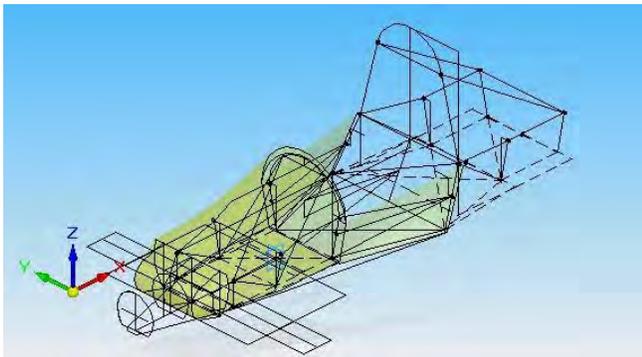
Fig. 4.3.1. Diseño de Diferentes Propuestas de Carrocerías del Vehículo FSAE U. N. A. M.



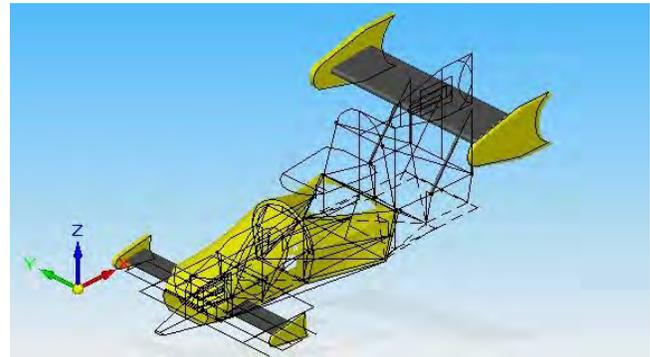
a) Primer Propuesta de Carrocería del Vehículo FSAE.



b) Segunda Propuesta de Carrocería del Vehículo FSAE.



c) Tercer Propuesta de Carrocería del Vehículo FSAE.



d) Cuarta Propuesta de Carrocería del Vehículo FSAE.

### 4.3.2. PERFIL AERODINÁMICO.

El *Estudio Aerodinámico*, ha incursionado no solamente en la aeronáutica y en la rama espacial, sino también, en el automovilismo, motociclismo, etc., entre otros transportes terrestres y acuáticos. La *aerodinámica* de un vehículo, permite reducir el coeficiente a la resistencia del aire y, esto a su vez, permite reducir en gran medida el gasto de combustible, provocado por una propuesta de diseño errónea o una incorrecta decisión e implementación en el uso de herramientas para el análisis aerodinámico en la carrocería del vehículo, etcétera.

Además de agrandar a la vista y diseñar propuestas vanguardistas, la carrocería del vehículo debe diseñarse en base a un análisis aerodinámico en un túnel de viento, visualizando las líneas de flujo que se generan y midiendo las fuerzas a las que se opondría el vehículo (Resistencia del Aire) en una situación real.



Este estudio, se lleva a cabo con un prototipo o modelo de la carrocería a escala, con el fin de observar si el diseño es factible o no en base a su perfil aerodinámico; después se realiza el prototipo modelado en tamaño real (escala 1:1) de arcilla, madera o fibra plástica sintética y, de igual forma, debe introducirse en el túnel de viento para su análisis final.

Las propuestas de diseño de carrocerías del vehículo FSAE, son muy diferentes a los diseños de los vehículos comerciales. En el caso de ser un vehículo de carreras, se involucran líneas o contornos curvos con perfiles agresivos para darle un toque deportivo, el cual debe asemejarse a un vehículo estilo fórmula. Además, pueden incluirse alerones que ayuden a cortar el aire y reducir las líneas de flujo, así como mantener el vehículo siempre en contacto con el suelo por un fenómeno de adherencia del aire, además de que hacen ver al vehículo mucho más deportivo y de agrado visual en el aspecto estético y en el diseño final del vehículo. Hay que agregar, que el uso de alerones aumenta peso al vehículo, por lo que debe anexarse y justificarse en la hoja de inspección de la competencia, porque se diseñaron y que ventajas aerodinámicas tienen con el diseño del vehículo en general.<sup>[Apéndice: I]</sup>

Para llevar a cabo la realización de diferentes propuestas de diseños de carrocerías, es necesario realizar modelos a escala y realizar análisis de flujo en un túnel de viento, con el fin de observar las líneas de flujo y mejorar el diseño de la carrocería, si el objetivo es reducir la fricción del aire.

El diseño depende de un análisis aerodinámico mucho más específico, el estudio de mecánica de fluidos y la aplicación de ecuaciones y coeficientes aerodinámicos, conocimientos de la capa límite máxima del fluido, velocidad del fluido y principalmente el uso de programas CFD (Computer Fluids Dynamics), entre otras variables.

A continuación se presentan diferentes propuestas de Carrocerías Diseñadas para el Vehículo-Prototipo FSAE U. N. A. M. (Fig. 4.3.2.a., 4.3.2.b. y 4.3.2.c.).

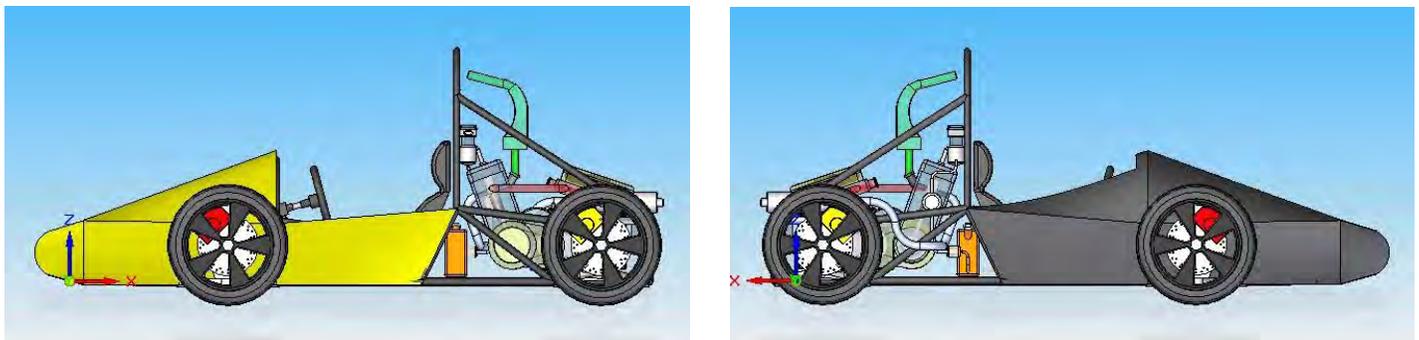


Fig. 4.3.2.a. Montaje y Propuesta de Carrocerías para el Vehículo FSAE.

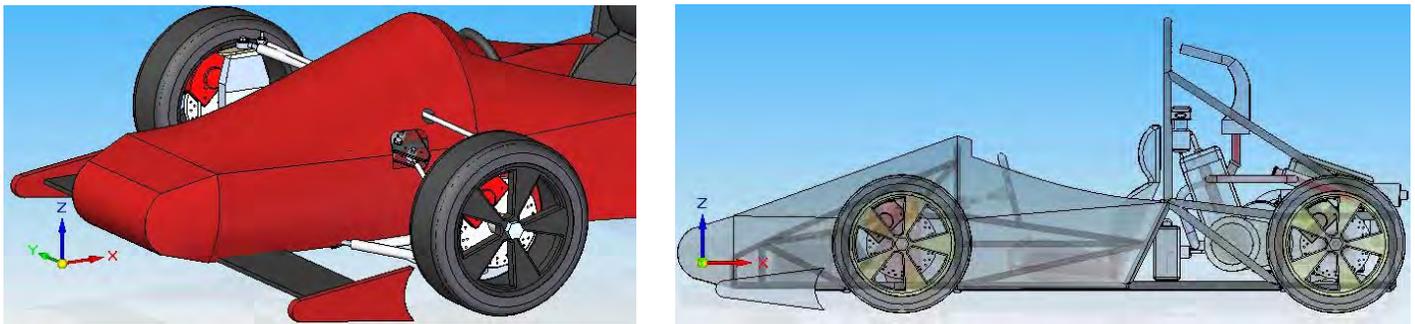


Fig. 4.3.2.b. Montaje y Propuesta de Carrocería con Alerón Frontal para el Vehículo FSAE.

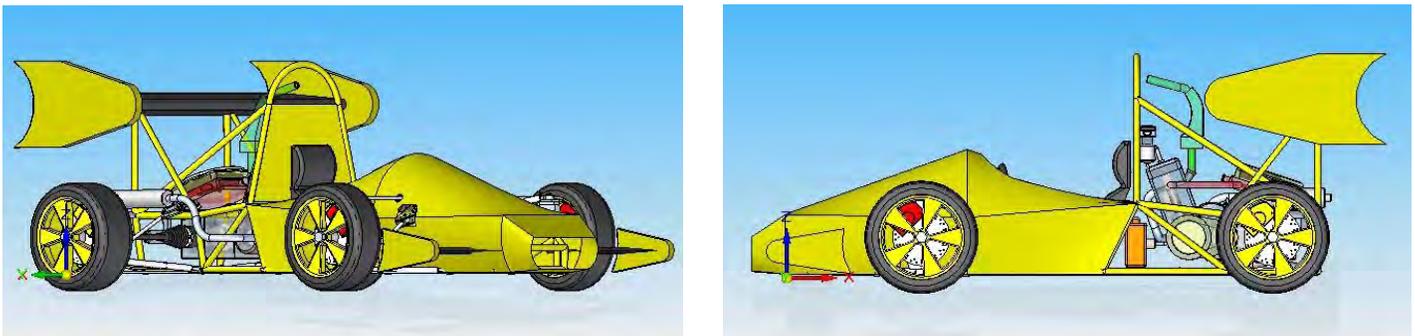


Fig. 4.3.2.c. Montaje y Propuesta de Carrocería con Alerones Frontal y Trasero para el Vehículo FSAE.

### 4.3.3. ESTÉTICA: PINTURA Y ACABADOS FINALES.

El aspecto final que debe tener el vehículo, como son los terminados, detalles y acabados, deberán ser de primera calidad, como pintura del armazón, pintura del piso y muro de fuego de la estructura, pintura de los brazos de suspensión, rótulas de empuje y dirección, pintura de las mazas de suspensión, pintura de los balancines, así como la pintura de los elementos de los sistemas que así lo requieran (elementos internos y del tren motriz); son de gran importancia para la competencia, ya que la primera prueba a evaluar en el evento, es el diseño e imagen del vehículo, el cual incluye el diseño de la estructura, el diseño de la carrocería, el diseño de alerones (si los incluye), así como la armonía en conjunto de los elementos que constituyen todo el vehículo en general.



El aspecto estético es una variable en la presentación del vehículo, del agrado a los jueces, al cliente en el caso de los vehículos comerciales y de la propia creatividad e imaginación de cada universidad en la creación de su Vehículo FSAE. *Es por ésta razón, que en la aplicación de los programas de diseño, pueden generarse y mostrarse diversas propuestas de colores y combinaciones de los mismos, con la finalidad de proponer y aprobar la mejor selección del aspecto que tendrá el vehículo, antes de ser fabricado y que pueda asemejarse y parecerse lo más próximo a dicha propuesta virtual diseñada.*

En el caso de diseño del vehículo FSAE U. N. A. M., se definieron diversas propuestas de carrocerías, así como el diseño de las mismas, por lo tanto la decisión final en la configuración de los posibles colores que podría tener el vehículo antes de su fabricación y manufactura, debe llevarse a cabo mediante la aplicación de diversas herramientas de diseño o de animación en 3D y, principalmente, la presentación y visualización del prototipo final diseñado en el Observatorio Ixtli, como producto terminado.

A continuación, se muestran los acabados finales de los modelos diseñados en CAD (Fig. 4.3.3.).



Fig. 4.3.3. Estética y Acabado Final del Vehículo FSAE en CAD Unigraphics.

#### 4.4. **DISEÑO FINAL DEL VEHÍCULO-PROTOTIPO FÓRMULA SAE U. N. A. M.**

El presente trabajo de tesis, pretende involucrar al estudiante de las carreras de ingeniería y otras áreas científicas, a incursionar en el área automotriz, así mismo, innovar en el desarrollo tecnológico y en la fabricación de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, mediante los conocimientos, aptitudes, habilidades y destrezas adquiridas a lo largo de la estancia en la Universidad, aplicándolas al desarrollo físico del vehículo. Este proyecto Conceptual de Diseño del Vehículo FSAE U. N. A. M., podrá ayudar a la realización del mismo dentro de la Universidad, a la formación de un equipo y equipos que continúen desarrollándolo y a la fabricación y creación del vehículo-prototipo de carreras.



Las consideraciones y restricciones del reglamento FSAE, hacen competitivo al proyecto con otras universidades, es decir, el objetivo del proyecto, es desarrollar un prototipo de competencia de pista, que integre los conocimientos, tecnología, habilidades y destrezas adquiridas en el transcurso de la carrera, esto ayuda a formar experiencia, participación, trabajo en equipo y liderazgo dentro del proyecto y en la vida profesional.

Este proyecto de Vehículo de Carreras para Competencia Estilo Fórmula, debe mantener y formar en los integrantes del equipo, liderazgo, comunicación, participación y trabajo en equipo, imaginación, creatividad, organización y sobre todo toma de decisión dentro del proyecto; todo esto en conjunto, permite coadyuvar en la realización efectiva, continua y tecnológica del proyecto y en la formación personal, académica (teórica y práctica) y profesional del ingeniero.

Todos los conceptos utilizados en el diseño del vehículo, fueron elegidos debidos a la simplicidad de diseño, costo y disponibilidad de componentes existentes y comerciales, así como a la compatibilidad de los sistemas relacionados, con refacciones económicas y comerciales y al propio diseño del vehículo, en general.

Algunos de estos parámetros fueron involucrados en todas las secciones y componentes del vehículo, como lo son: seguridad, reducción de peso, formalidad y diseño, rentable en su costo, fácil de manufacturar, complejidad de diseño, implementación y uso de tecnologías científicas, entre otros; con el fin de desarrollar un concepto de competencia dentro de la U. N. A. M., así como el poder participar y competir con otras universidades de todo el mundo.

**A continuación, se muestran las dos Propuestas Finales de Diseño del Concepto-Prototipo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE U. N. A. M. (Fig. 4.4.).**

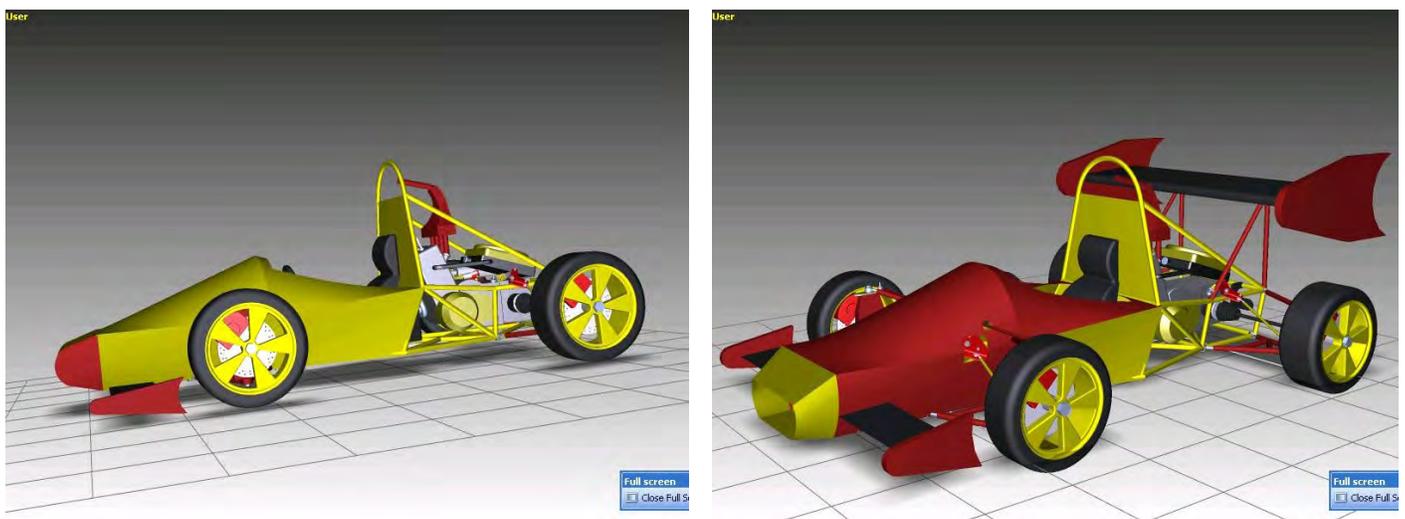


Fig. 4.4. Propuestas de Diseño Conceptual del Vehículo de Competencia Estilo Serie FSAE U. N. A. M.



#### 4.5. VISUALIZACIÓN DEL VEHÍCULO FSAE DENTRO DEL OBSERVATORIO IXTLI.

A partir de los sistemas de realidad virtual, involucrados para observar el despliegue tridimensional dentro del Observatorio de Visualización Científica “Ixtli”, se mostrará la utilización de herramientas de despliegue estereoscópico, a través de la infraestructura y recursos humanos especializados, empleando el desarrollo científico y la tecnología de procesamiento visual de la información y de ambientes virtuales.

Reiterando que la Realidad Virtual, es un medio que está compuesto de simulaciones interactivas por medio de una computadora, que sensibilizan la posición y acciones de un usuario y, que permiten generar la sensación de que éste se encuentra inmerso o presente en la simulación (mundo virtual);<sup>[8]</sup> se requerirá y hará uso del equipo y software especializado, así como la interacción y aplicación de paqueterías y programas de generación tridimensional dentro del Observatorio Ixtli.

A través de estas herramientas y técnicas estereoscópicas, se pretende introducir al usuario, en el entorno virtual, donde el participante se encuentre inmerso y pueda explorar e introducirse dentro del ambiente gráfico y, visualizar detalladamente el diseño del vehículo y de los propios sistemas, componentes y elementos internos y externos del mismo; esto llevado a cabo, mediante la interacción visual y desconectado por completo del espacio físico exterior e introducirlo con el mundo virtual alrededor de él, ampliando la sensación en la concentración visual, áurea y táctil y del propio estado mental, experimentando el mundo simulado, logrando que sea perceptible, y lo vea y sienta real.

Es por ésta razón, que la principal finalidad de utilizar y llevar a cabo la exposición y presentación Virtual del Prototipo FSAE dentro del Observatorio Ixtli y visualizar los componentes que lo integran, es generar en el(os) espectador(es) la sensación de inmersión y que se sienta parte de ese mundo.

***Las ventajas de Visualizar el Diseño del Vehículo FSAE dentro de la Sala Ixtli, se resumen a partir de las siguientes características, descritas por los ambientes de realidad virtual:***

1. *La Presencia.* Pretende introducir a los usuarios, a formar parte del entorno gráfico y sentirse dentro del mundo virtual o artificial.
2. *La Telepresencia.* Se busca que los usuarios perciban el mundo artificial desde diferentes posiciones o ubicaciones geográficas dentro de la Sala Ixtli.
3. *La Inmersión.* Este es el punto más importante dentro de la visualización, ya que pretende que el usuario se sienta rodeado e introducido en todos los sentidos dentro del entorno gráfico virtual e incluso pueda percibirlo totalmente real.



4. *Amplio ancho de bando visual.* Debe contarse con despliegues panorámicos, que permitan colocar gran cantidad de información visual en el escenario. Esto puede lograrse con un navegador de modelos, colocando paisajes o entornos cerrados (Skyboxes) para lograr mayor inmersión en el usuario.
5. *Estereografía.* A partir de la ubicación geométrica y del propio sistema de coordenadas del Vehículo FSAE mostrado dentro de la pantalla o del espacio tridimensional, se busca que el usuario amplíe o sensibilice la percepción de profundidad y del campo de visión donde se ubique y, pueda apreciar los objetos con detalle.
6. *Interactividad.* En este punto, existe una retroalimentación entre el(os) usuario(s) con los demás espectadores a través del medio visual al observar el vehículo; introducido por medio de la respuesta en tiempo real del sistema computacional y el mundo virtual y a las acciones (movimientos del cuerpo, giro de la cabeza, gestos del rostro, sonido espacial y presencia táctil) tomadas por los usuarios.

Por lo tanto, a partir de la interacción de estos ambientes virtuales, se busca lograr un acercamiento del entorno de procesamiento visual con el usuario, permitiendo apreciar la visualización de los sistemas, elementos y componentes del Vehículo FSAE como geometrías simples y complejas y, como objetos con volumen, desplegados en un área que cubra un amplio grado de campo de visión del usuario, dentro de un despliegue panorámico curvo que facilitará la visualización estereográfica de este mundo artificial.

Además, intenta lograrse en los participantes, que la simulación sea de una forma lo más perceptible posible a partir de la rápida generación de varias imágenes de alta calidad por segundo, por lo que llegará a recurrirse del uso de dispositivos especiales como: distintos sistemas de generación de imágenes estereoscópicas (Polarización y Obturación), lentes electrónicos LCD, equipo y software especializado, entre otros; que permitan mostrar los detalles internos y externos del mismo e introducir al usuario, a través de una manipulación y navegación de movimiento libre, de manera que puedan ser trasladadas o rotadas las geometrías para especificar la modificación o transformación de dicho modelo diseñado, a través de un visor o visualizador de modelos o, mediante un navegador de modelos. Esto da una sensación de inmersión que puede llegar a ser tan real, que la primera reacción al mirar las imágenes, será levantar la mano para intentar tocar lo que se está observando.

#### **4.5.1. HERRAMIENTAS DE REALIDAD VIRTUAL.**

La aplicación de los recursos y medios visuales, incluida la simulación del procesamiento gráfico e interacción con elementos y objetos geométricos tridimensionales dentro del Observatorio Ixtli, permite la dirección de proyectos visuales en cada área o disciplina de investigación, donde se podrá observar, comprender y analizar, el estudio de una serie de diversos objetos de geometría variada, simple y compleja.



Para poder llevar a cabo la visualización y exploración del Vehículo FSAE, es necesario usar técnicas que permitan el requerimiento y la manipulación de diversos paquetes de diseño gráfico, multimedia, animación y visualización en 3D, así como el uso de software que permita el despliegue estereoscópico.

En el caso de estudio, estas herramientas y dispositivos empleados, así como la implementación de las técnicas de realidad virtual generadas a partir del despliegue tridimensional, permitirán visualizar y analizar las geometrías del proyecto, así como definir un criterio sólido en la toma de decisiones que se podrán determinar, sugerir, modificar y/o concluir, como lo son: que procesos de fabricación pueden utilizarse, que modificaciones se podrían llevar a cabo a través de una propuesta de rediseño o ingeniería inversa, entre otras y, principalmente, que aspecto final tendrá el prototipo diseñado antes de su fabricación; todo esto llevado a cabo, mediante la visualización y exploración virtual del prototipo en escala real, antes de su fabricación.

Esta fase de trabajo en el procesamiento de diseño en ingeniería, es considerada conjuntamente con el diseño conceptual, la cual conjuga facetas de arte (creatividad, imaginación y expresión) y ciencia aplicada (diagnóstico, diseño, análisis, verificación, optimización e incertidumbre), es decir, el ingeniero debe ser capaz de echar a volar las capacidades creativas, para formar una estructura sólida de lo que sabe y quiere hacer.

Dentro del Observatorio Ixtli, será necesario emplear un Sistema de Obturación o Estéreo Activo, a partir del uso de gafas o lentes de cristal líquido, sincronizados con la pantalla de la computadora, con el fin de mostrar y crear la ilusión de tridimensionalidad estereoscópica del prototipo y el realismo del mismo. Los programas de visualización en tercera dimensión empleados dentro de la Sala Ixtli, son: Amira 3.1 para SGI ó 5.2 para PC, Ve3D 1.5.2, Deep Exploration 5.0, vrNav 2.0. y OpenSceneGraph.

#### **4.5.2. VISUALIZADORES DE OBJETOS 3D.**

El objetivo de utilizar uno o varios visualizadores de modelos, permite observar las características y complejidad de las geometrías, observando los detalles y analizando el Diseño Conceptual Final del FSAE. Las ventajas y mejoras son: la amplitud de realismo, es decir, con una aproximación de mayor sensación de realidad al espectador, aplicación de fondos o imágenes (paisajes), introducción de sonido o audio, animación multimedia y movimiento de los propios sistemas del vehículo (por ejemplo: el movimiento y desplazamiento del sistema de suspensión, observando si su recorrido teórico de diseño es viable para su fabricación; el giro del volante y del propio sistema de dirección y los neumáticos, así como crear la simulación de una posible competencia virtual, etc., entre otros).

En el despliegue estereoscópico, se emplearán diversas herramientas de visualización, entre ellas, el programa Amira, que es una aplicación poderosa y versátil y rica en recursos del sistema, en cuanto a visión estéreo activa y en la observación e interacción a detalle de objetos 3D.

4. **Visualización del Diseño Conceptual de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, a través de Técnicas y Herramientas Estereoscópicas dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.**



Para mostrar las utilidades y herramientas gráficas y las aplicaciones visuales que permiten este tipo de tecnología, puede emplearse un visor de objetos en tercera dimensión llamado Deep Exploration, donde se aprecian varios efectos de realismo virtual que permite interactuar con los objetos 3D, mostrando como se verá el prototipo en la fase de diseño inicial y, como se vería al final en su fase de presentación.

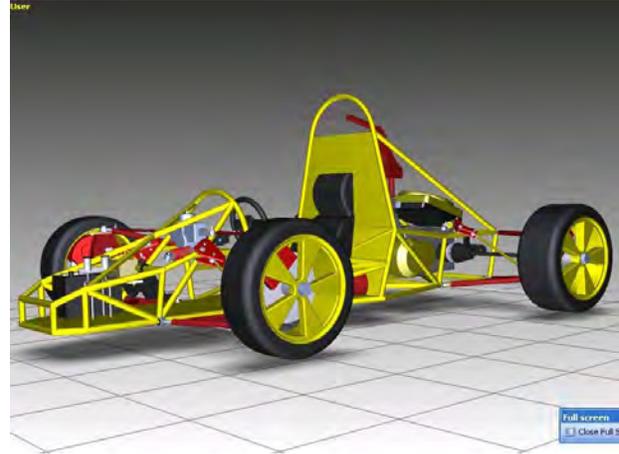
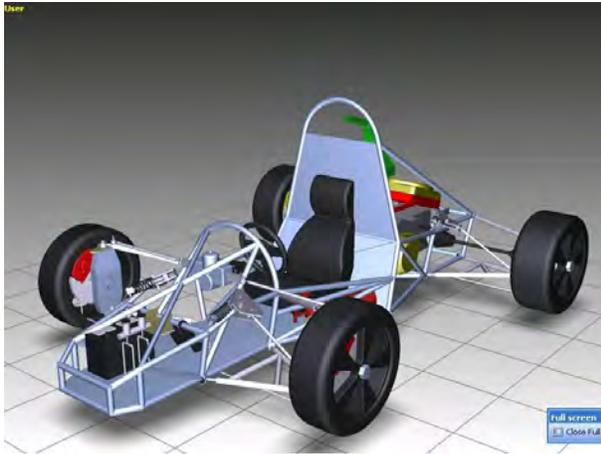


Fig. 4.5.2.a. Visualización del Prototipo Inicial y Final del Vehículo FSAE.

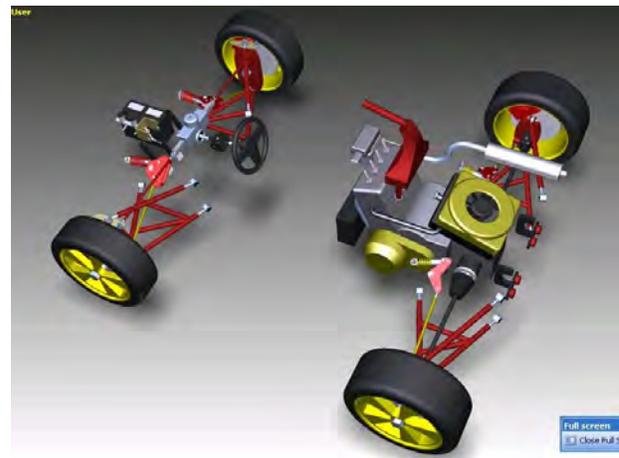
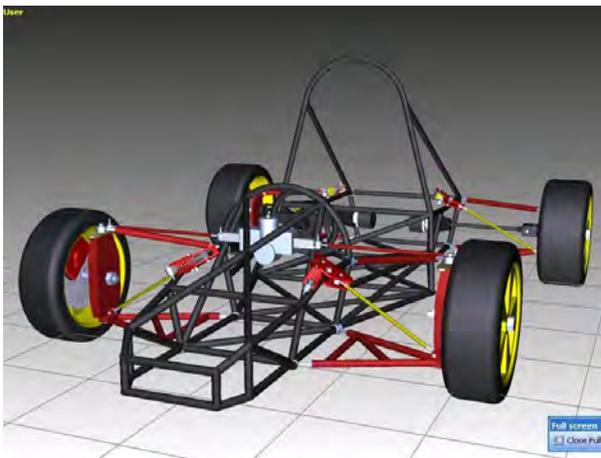


Fig. 4.5.2.b. Visualización de los Sistemas Internos del Vehículo FSAE.

Otras opciones de visión, permiten desplegar cortes longitudinales y transversales o aéreos; otros efectos, incluyen vistas como transparencias y bocetos o ilustraciones; así como, pueden apreciarse efectos de corte y espejo, e incluir varios objetos en una escena de realidad virtual.

4. Visualización del Diseño Conceptual de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, a través de Técnicas y Herramientas Estereoscópicas dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.

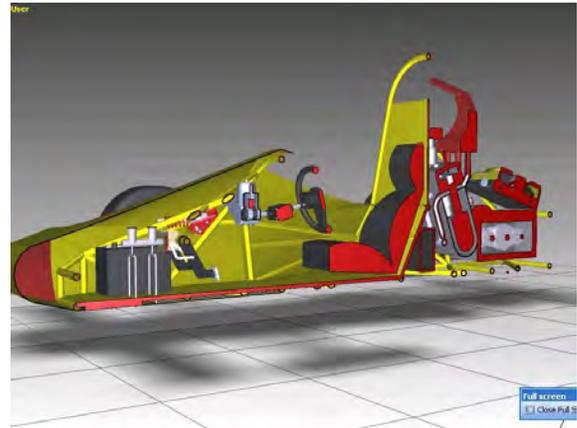
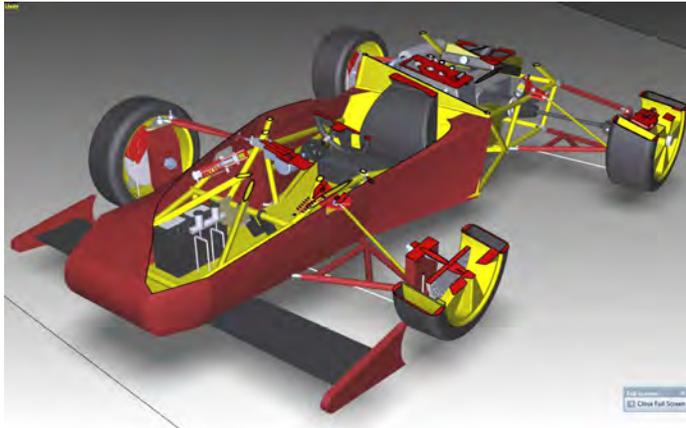


Fig. 4.5.2.c. Visualización con Efecto de Corte de los Sistemas Internos del Vehículo FSAE.

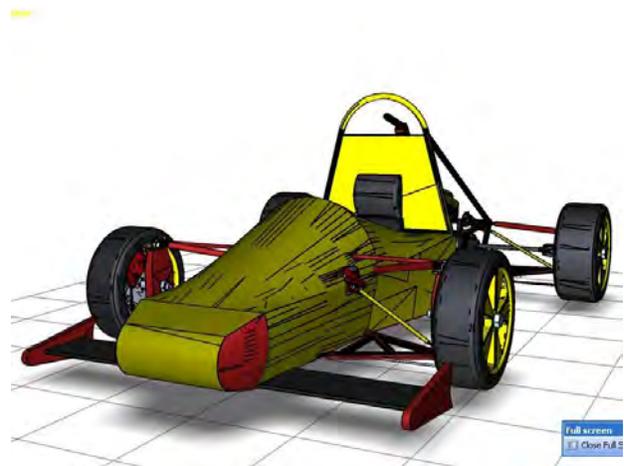
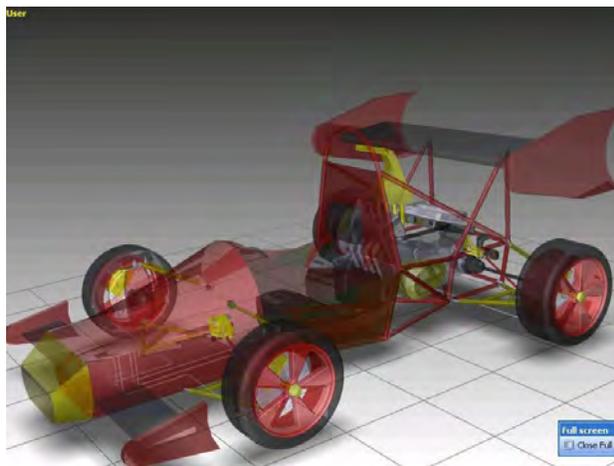


Fig. 4.5.2.d. Visualización con Efecto de Transparencia e Ilustración del Vehículo FSAE.

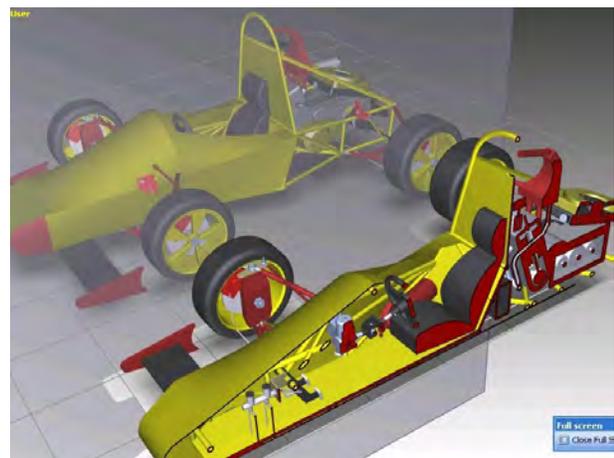


Fig. 4.5.2.e. Visualización con Efecto de Corte y Espejo de los Sistemas Internos del Vehículo y Prototipos Finales del Diseño Conceptual del Vehículo de Competencia Estilo Serie FSAE U. N. A. M.



### 4.5.3. DESPLIEGUE ESTEREOSCÓPICO.

El *Despliegue Estereoscópico o en Tres Dimensiones*, dará resultado de la capacidad del sistema visual que posee cada usuario, de poder interpretar un aspecto tridimensional al diseño del Vehículo FSAE, a partir de las imágenes en dos dimensiones obtenidas en cada una de las retinas de los ojos.

A través de la Simulación de la realidad virtual, la interfaz para poder manipular, explorar y estudiar la propuesta de Diseño del FSAE dentro de la Sala Ixtli, será mediante una representación visual, sonora y táctil, que al observarla con un dispositivo especial, se verá con profundidad, cuyo acceso será posible con la implementación de niveles de detalle (realidad), es decir, una conexión del usuario con el mundo físico o artificial, a través del mundo sintético o virtual. Esto permitirá determinar, la manera en que cada usuario percibe esta inmersión virtual y puede aproximar a la realidad los objetos (vehículo y sistemas) presentados.

La ventaja de poder observar el Diseño del Vehículo FSAE en 3D, es un punto importante en la apariencia estética, agrado visual y en la decisión en la configuración final del vehículo, en conjunto con el funcionamiento, versatilidad, flexibilidad y eficiencia del mismo, es decir, la principal consideración clave al momento de Visualizar el Vehículo FSAE, será la parte *estética*, la cual influye en el gusto personal, diseño, apariencia, gama de colores, armonía de las líneas y contornos, vanguardista y moderno, entre otros. Por lo que, la *presentación visual*, juega un papel muy importante en la muestra del vehículo, ya que, la *vista estética* no sólo es la parte exterior del vehículo, sino es también la carta de presentación del mismo, ante los jueces dentro de la competencia y, ante los clientes en una propuesta de mercado como producto final.

Las diferentes modalidades de demostración dentro de la Sala Ixtli, pueden realizarse a través de una interfaz, ya sea con un visor de modelos o un navegador de modelos. Para el área científica, de ingeniería, de investigación y tecnológica; son utilizados principalmente los formatos con extensión \*.iv (Open Inventor) y/o \*.wrl (VRML), entre otros.

Puede incluirse un sistema de rastreo (Tracking System), donde el usuario utiliza un control táctil (joystick) para manipular los sistemas mostrados dentro de un sistema de coordenadas, en el cual interactúa de igual manera dentro del ambiente inmerso, sólo que ahora por medio de otro equipo visual de realidad virtual.

En la utilización de sistemas y técnicas de manipulación e interacción de Despliegue Estereoscópico o Visualización en Tres Dimensiones, es necesario el requerimiento e implementación de herramientas de realidad virtual inmersiva dentro de estos entornos virtuales, como son: cargadores de escena 3D, diversas formas de navegación, manejo de colisiones, animación de objetos, simulación de física, integración de personajes, inteligencia artificial, sonido espacial, integración de interfaces de interacción, entre otros.

#### 4. Visualización del Diseño Conceptual de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, a través de Técnicas y Herramientas Estereoscópicas dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.



Es por esta razón, que se requerirá del uso de dos programas para visualizar al vehículo FSAE, donde se mencionarán algunas ventajas y desventajas que tiene uno sobre otro. En primer lugar, se empleó un programa desarrollado por programadores y diseñadores de la D. G. T. I. C., llamado Ve3D. Este programa es muy amigable y fácil de utilizar, es libre, pero un poco limitado en cuanto a herramientas; además, permite mostrar la programación estereoscópica para Sistemas en Estéreo Pasivo; así mismo, introducir el objeto en una caja, en un domo o esfera, permitiendo desplegar las geometrías fuera de su sistema de ejes coordenados, es decir, podemos colocar dos objetos en la misma posición y cambiar la ubicación de uno o ambos. En segundo lugar, se empleó un programa mucho más poderoso en cuanto a utilidades y recursos. Éste, es conocido con el nombre de Amira, y es el más utilizado dentro del Observatorio Ixtli para mostrar el despliegue tridimensional de diversos elementos en las áreas de ingeniería y ciencias aplicadas, donde se hace uso de Sistemas en Estéreo Pasivos y Activos.

A continuación, se muestran una serie de imágenes, donde se observa el empleo de estos programas y la aplicación en el uso de Sistemas en Estéreo Pasivos y Activos empleados para la visualización del vehículo FSAE, así como la interacción de un usuario inmerso dentro del entorno virtual, a través de la Sala Ixtli. (Fig. 4.5.3.a. y Fig. 4.5.3.b.).

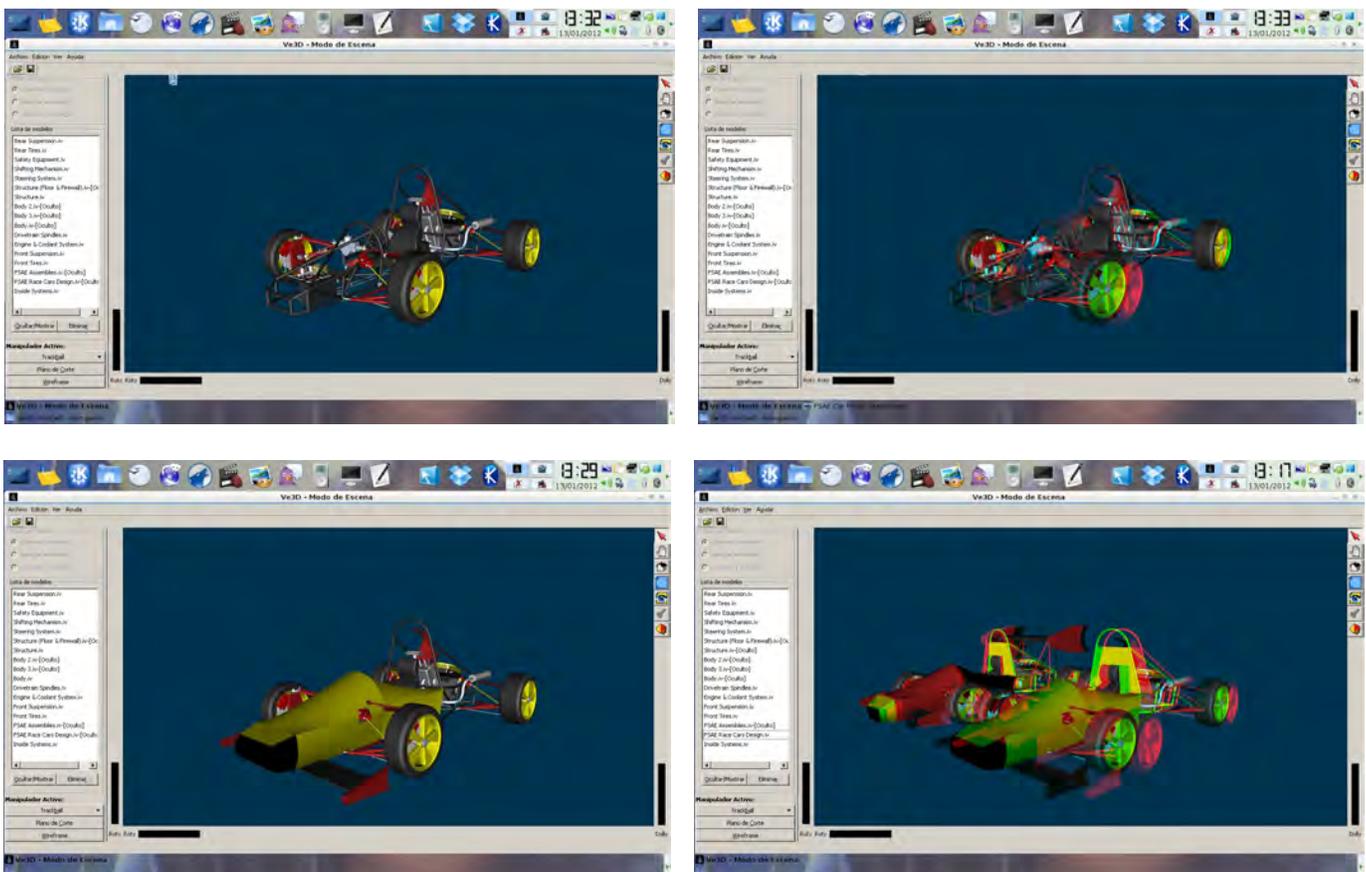


Fig. 4.5.3.a. Visualización Normal y en Estéreo Pasivo del Vehículo FSAE con Ve3D sobre Plataforma LiNuX.

4. **Visualización del Diseño Conceptual de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, a través de Técnicas y Herramientas Estereoscópicas dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.**



Fig. 4.5.3.b. Visualización Normal y en Estéreo Activo del Vehículo FSAE con Amira sobre Plataforma Unix SGI.

Para poder explorar el prototipo diseñado dentro de la Sala Ixtli, es importante emplear el Sistema de Estéreo Activo u Obturación para observar la simulación en 3D del vehículo FSAE, en la cual, se utilizarán diversas formas de navegación, donde el usuario (expositor) pueda mover los objetos virtuales para inspeccionarlos o para moverlos a través de la escena. Algunas de estas formas de navegación son, por ejemplo: moverse alrededor del objeto, rotarlo, realizar acercamientos, realizar cortes específicos (longitudinales o transversales), introducirse en uno a varios elementos o en geometrías complejas, incluso simular que el usuario percibe, toca y camina en la escena 3D (Fig. 4.5.3.c. y Fig. 4.5.3.d.).



Fig. 4.5.3.c. Inmersión Estereoscópica dentro del Vehículo FSAE, a través de Amira dentro de la Cabina de la Sala Ixtli.

4. *Visualización del Diseño Conceptual de un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, a través de Técnicas y Herramientas Estereoscópicas dentro del Observatorio Ixtli U. N. A. M.*

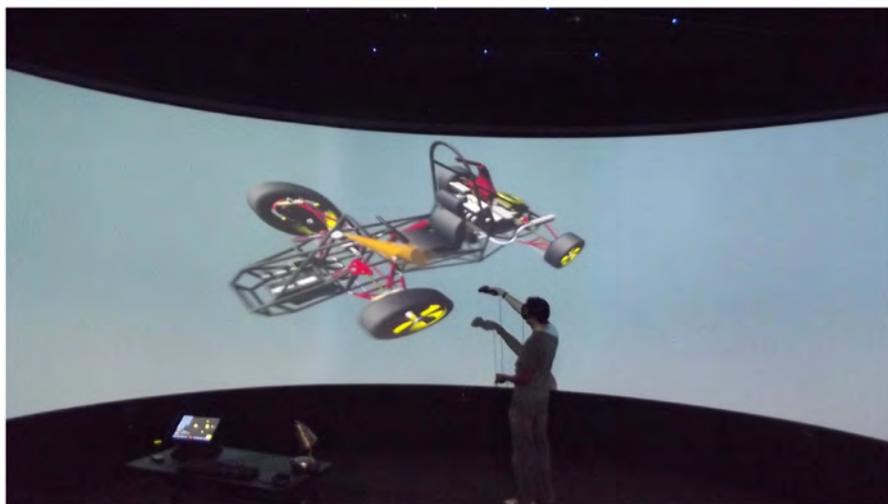
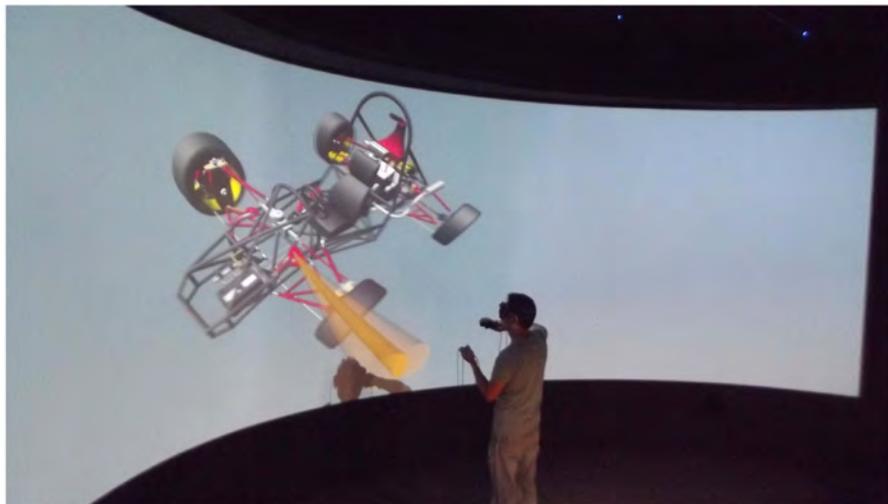
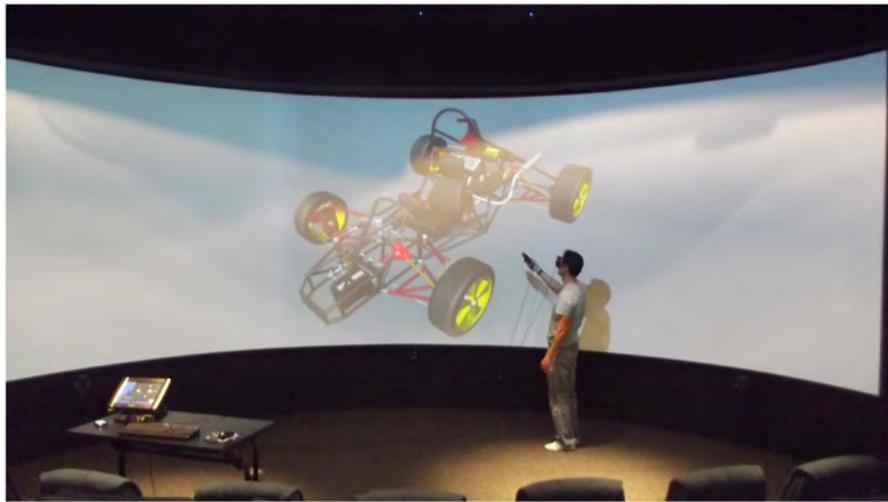


Fig. 4.5.3.d. Interacción y Manipulación del Sistema de Rastreo del Vehículo FSAE, dentro de la Sala Ixtli.



La Utilización y Simulación de los Programas de Diseño (CAD) y Manufactura (CAM), así como los Programas de Despliegue Estereoscópico de Objetos Tridimensionales o Elementos en 3D (Realidad Virtual), permiten visualizar o aproximar a la realidad la propuesta final de diseño del vehículo, con la finalidad de llevarla a la fabricación; así como seleccionar en la fase de diseño, los materiales, analizar los elementos y conocer cuales serían los posibles tiempos y costos aproximados de fabricación de las piezas y del vehículo en su totalidad, en base a los procesos de manufactura que se definan antes de fabricarlos y asegurar la confiabilidad, precisión y eficacia en el funcionamiento de los sistemas, a partir de los criterios de diseño previamente establecidos y definidos, al establecimiento de ecuaciones matemáticas, a los conocimientos sólidos de ingeniería para introducir las diversas variables involucradas en los análisis generados, a la interpretación de los modelos físicos y matemáticos y de los resultados obtenidos y a los factores de seguridad empleados para el diseño de un vehículo de carreras FSAE.

Además, las paqueterías de diseño, modelado, simulación, visualización y optimización del pre-proceso, proceso y post-proceso, han sido creadas para reducir significativamente los tiempos de evaluación y análisis del proyecto y del diseño. Lo que una vez llevó semanas para simular y obtener resultados, ahora se puede realizar en días o incluso en horas antes de su fabricación, manufactura y comercialización final como producto terminado.

Gracias a la utilización de las computadoras como herramientas o recursos de ingeniería, se podrán obtener resultados mucho más aproximados a la realidad, factibles, precisos y, la velocidad de procesamiento se llevará a cabo cada día en un menor tiempo, sobre todo análisis complejos que requieren de millones de ecuaciones para generar los resultados como lo es el Análisis de Elemento Finito de una pieza con cierta geometría. Es por esta razón, que para obtener mejores resultados, se requerirá del uso de computadoras y máquinas de control numérico con mayor procesamiento de datos, así como el manejo y dominio de software especializado, así como la constante actualización de paqueterías de manera personal.

Todo esto ha hecho necesario que los ingenieros se dediquen a desarrollar nuevas propuestas y mejoras en la creación de nuevos productos y obras de ingeniería en pro de la sociedad, debido a la competencia, al incremento globalizado de la industria, la demanda, la funcionalidad y la necesidad de reducir el ciclo de desarrollo del producto. Por lo que, el uso de los medios visuales, que en el caso particular de estudio y de éste tema de tesis, fue la Visualización Tridimensional del Prototipo Diseñado FSAE; reducen y ahorran en gran medida los costos de diseño en ingeniería y sobre todo los costos y pérdidas económicas posteriores, a través de una incorrecta selección en los procesos de fabricación del mismo.

Para finalizar este capítulo, se concluye que se cumplieron exitosamente las metas del trabajo de tesis, como lo fueron, definir las características de los diferentes Sistemas que componen un Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, principalmente el Diseño de la Estructura y el Sistema de Suspensión, asimismo, el Análisis de Elemento Finito de la Estructura, el Diseño Aerodinámico de la Carrocería y la Visualización del Proyecto diseñado, a través de la interacción y utilización de Herramientas de Realidad Virtual dentro del Observatorio de Visualización Ixtli U. N. A. M..



## Referencias Bibliográficas.

- [1] SAE International, SAE Student Central, *FSAE 2011-2012 Rules*, 2012.  
<http://www.sae.org>  
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>  
<http://www.formulastudent.com/>
- [2] U. N. A. M., *Observatorio de Visualización Científica (Sala Ixtli)*, México, 2012.  
<http://www.tic.unam.mx/>  
<http://www.ixtli.unam.mx/>
- [3] Mangonon, Pat L., Ph. D., P. E., *Ciencia de Materiales: Selección y Diseño*, México, Pearson Educación, 1ª Edición, 2001. ISBN: 970-26-0027-8.
- [4] Ortega Torres, Bernardo, Tesis: *Manual del Proyecto Mini Baja U. N. A. M.*, México, Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., 2003.
- [5] Navarrete Hernández, Alejandro, Tesis: *Diseño de Carrocerías para un Vehículo Monoplaza Todo Terreno, utilizando Técnicas CAD y CAE*, Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., 2004.
- [6] Chandrupatla, Tirupathi R. y Belegundu, Ashok D., *Introducción al Estudio de Elemento Finito en Ingeniería*, Prentice Hall - Pearson Education - Addison Wasley, 2ª Edición. 1999. ISBN: 970-17-0260-3
- [7] Breuer, Bert J. y Dausend, Uwe, *Advanced Brake Technology*, Paperbound, 2003. ISBN- 0: 0-7680- 247-3.
- [8] Craig, Alan B. y Sherman, William R., *Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design*, Morgan Kaufmann, The Morgan Kaufmann Series, 2003.

- Sitios de Interés:

- [a] <http://www.algor.com> (2009).
- [b] <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=13773836> (2012).



- [c] <http://www.amira.com> (2012).
- [d] <http://www.righthemisphere.com> (2009/2012).
- [e] [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/velocity/solidedge/](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/solidedge/) (2012).

## Referencias de Imágenes.

- [1] Fig. 4.1.1.1.a.

Mangonon, Pat L., Ph. D., P. E., ***Ciencia de Materiales: Selección y Diseño***, México, Pearson Educación, 1ª Edición, 2001. ISBN: 970-26-0027-8.

- [2] Fig. 4.1.1.1.b.

Ashby, Michael F., ***Materials Selection in Mechanical Design***, Elsevier, Butterworth Heinemann, 3<sup>rd</sup> Edition, 2005. ISBN 0-7506-6168-2.

- [3] Fig. 4.1.1.2. y Fig. 4.1.1.2.2.

Chandrupatla, Tirupathi R. y Belegundu, Ashok D., ***Introducción al Estudio de Elemento Finito en Ingeniería***, Prentice Hall - Pearson Education - Addison Wasley, 2ª Edición. 1999. ISBN: 970-17-0260-3

- [4] Fig. 4.1.2.6.

Nybacka, Mikael, ***Validation of ADMS/Car Simulations and Dynamic Performance in multi-link Suspensions***, Luleå University of Technology, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, 2005. ISSN: 1402-1617.

- [5] Fig. 4.5.3.c. y Fig. 4.5.3.d.

U. N. A. M., ***Observatorio de Visualización Científica (Sala Ixtli)***, México, 2012. Sala Ixtli, Participante Inmerso (David Francisco Ramírez Muñoz), C. U., México.



---

## Capítulo 5. ANÁLISIS DE COSTOS DEL VEHÍCULO FSAE.

### 5.1. REPORTE DE COSTOS Y MANUFACTURA.

El Objetivo del Evento de Costos y Manufactura, es enseñar a los participantes de cada equipo, a realizar un análisis financiero mediante la implementación de recursos económicos, proveyendo de herramientas sólidas de los procesos empleados relacionados y aplicar los conocimientos para llevar a cabo reportes de costos y presupuestos de cualquier producto (en este caso la fabricación del Vehículo FSAE), los cuales, son factores significativos que deben ser considerados dentro de cualquier aplicación y desarrollo de ingeniería y de cualquier tipo de costeo en el proceso de diseño y fabricación de un producto, hasta hacerlos llegar al área de mercadotecnia. Además, los estudiantes aprenden a utilizar las técnicas de manufactura avanzada, a mejorar los procesos de conformado de algunos materiales empleados y hacer mucho más eficientes los procesos de los materiales que habrán de elegir, para llevar a cabo la fabricación final del prototipo de carreras diseñado.<sup>[1]</sup>

El Reporte de Costos del Vehículo de Competencia Estilo Serie Fórmula SAE, deberá realizarse considerando todas las piezas, elementos y sistemas del vehículo, así como el ensamble y la mano de obra que representa la fabricación total, detalles y acabados finales del vehículo. Así también, son considerados gastos de transportación, aduana, embarque y otros estimados en base al traslado del vehículo al lugar de participación o competencia, entre otros misceláneos.<sup>[2]</sup>

Las piezas y elementos que conforman al vehículo FSAE, pueden ser adquiridas a partir de dos formas: una de ellas, es comprarlas a algún proveedor (al ser piezas comerciales como rines, neumáticos, tornillos, tuercas, etc.) y la otra forma, sería fabricarlas bajo un propio diseño. En ambos casos, se deberá obtener el costo total de producción, además debe considerarse el costo de mano de obra y gastos adicionales e indirectos (puede hacerse un análisis más exhaustivo contemplando gastos como agua, energía eléctrica consumida, etc.).

El reglamento del FSAE, establece que los costos de producción y manufactura (maquinado, mano de obra, ensamble, etc.) deben realizarse en dólares (USD), sin realizar el cambio a moneda nacional, con la finalidad de homogeneizar el análisis de costos y para que todas las universidades trabajen bajo las mismas bases. Por lo tanto, el presente trabajo se realizará bajo esa premisa, utilizando las tablas guía (FSAE / Mini-Baja) que para ello se indica. Esto implica para todas las universidades.<sup>[3]</sup>

Utilizaremos como referencia, las tablas de costos del proyecto Mini-Baja, ya que son base para la realización del Análisis de Costos, puesto que comparten la misma metodología en la realización y desglose de elementos, sistemas, sub-sistemas, ensambles, costos de los procesos de manufactura y mano de obra.



## 5.2. MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL PROCESO DE DECISIÓN.

Para poder definir la Configuración Final de Diseño del Vehículo FSAE, es necesario efectuar un método de análisis que permita llevar a cabo una correcta toma de decisiones en la selección de los materiales y sistemas involucrados y determinar el ciclo de vida en los costos de diseño, a través de las fases de inicio del proyecto.

En el momento de la toma de una o varias decisiones, puede hallarse en un contexto incierto, cuando los informes o los datos relativos a esta decisión dependan de eventos aleatorios, a los cuales pueden asociarse probabilidades. Existen diversas técnicas para ayudarnos a la toma de decisiones dentro de diferentes contextos, que para nuestro caso, será: la selección del material empleado para fabricar cada sistema, los dispositivos necesarios para su funcionamiento, los tipos de procesos de fabricación más versátiles, rápidos, óptimos y viables a emplear; los criterios seleccionados para la mejor alternativa de manufactura y ensamble; en general, proveer de un rango más amplio de posibilidades en los procesos considerados, con la finalidad de reducir los tiempos de operación y optimizar la productividad (mano de obra) en cada proceso.<sup>[4]</sup>

Para conocer la secuencia que seguiremos en la etapa de decisión, al definir las propuestas de costeo de los elementos y materiales con que estará ensamblado el vehículo, a continuación veremos la representación del proceso en un diagrama de flujo, el cual nos describe los pasos que se siguen en la toma de decisión, desde el reconocimiento del problema hasta la selección de la mejor alternativa, esto con el objetivo de obtener el costo total aproximado del prototipo FSAE (Fig. 5.2.a.).

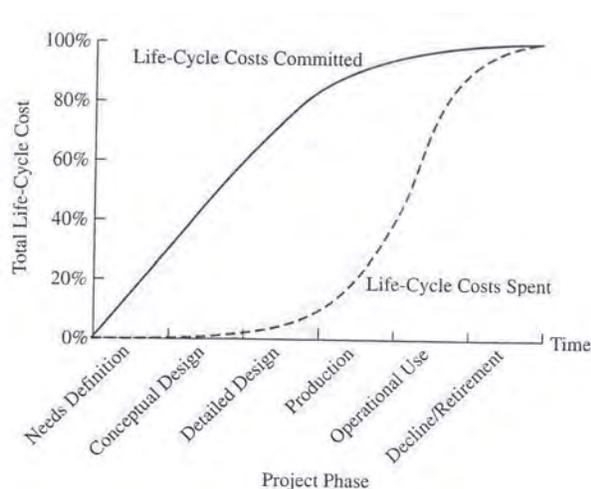


Fig. 5.2.a. Ciclo de Vida en los Costos de Diseño y Diagrama de Flujo en las Fases del Proceso en la Toma de Decisión.





Para poder realizar este estudio incierto de posibilidades, es necesario valernos de una herramienta como método de análisis en la toma de decisiones de este costeo y, de cualquier proceso que requiera manejarse, incluso, desde la toma de decisión de un producto inicial, hasta finalizarlo como producto terminado. Este método se efectúa a través de un árbol de decisiones, el cual permite estudiar por etapas una decisión que deba tomarse, y situarla en una serie de eventos y decisiones que ocurrirán en un lapso de tiempo.

Este método, ayuda a observar el aspecto secuencial en la toma de decisiones, así mismo, coadyuva al establecimiento y control de las principales alternativas en la etapa de decisión de los sistemas del vehículo, así como, permite precisar los costos más confiables y viables en cuanto a inversión o a definir otros factores que involucran los costos de equipamiento, versatilidad o desempeño dentro del vehículo.

Con la ayuda de un Árbol de Decisión, analizaremos la evaluación en la selección de un sistema del vehículo como ejemplo, donde se muestran las etapas del proceso:

- *Etapa 1:* Construcción del Árbol de Decisión, en donde, en primera instancia, debe decidirse si se va a diseñar un Sistema de Suspensión Frontal de Doble Brazo en A o un Sistema de Suspensión Frontal de tipo SLA. Al decidir por la segunda opción, ahora debe definirse el Ángulo de Inclinación de trabajo más óptimo para el sistema (Positivo o Negativo). Si se decide uno u otro, deben evaluarse las posibilidades en cuanto a inversión: material, número de elementos a considerar, proceso de manufactura, en general, el costo del sistema total; otra opción en aspectos técnicos y estudio de ingeniería, como: funcionamiento, desempeño, análisis, factor de seguridad, entre otros. En cada decisión y NO decisión de todos los sistemas y sub-sistemas, debe hacerse frente a cada evento en consideración a un porcentaje estimado de prioridad (costo-beneficio-desempeño), que permite definir diferentes alternativas de forma creciente a la mejor selección.
- *Etapa 2:* Evaluación de los Costos y Mano de Obra para cada hipótesis. Después de haber definido el tipo de Ángulo de Inclinación seleccionado para el Sistema de Suspensión Frontal, ahora deben involucrarse los parámetros económicos establecidos para cada sub-sistema, es decir, llevar a cabo un análisis de presupuestos de cada uno de los elementos considerados para fabricar y comprar, así como los costos de operación de manufactura y mano de obra empleados.
- *Etapa 3:* Toma de Decisiones. Cada *nudo* de eventos, es reemplazado por la estimación matemática (esperanza matemática) del costeo de la inversión (presupuesto establecido para el proyecto total FSAE), empezando por el último nudo de cada rama. Esta Toma de Decisión, permite identificar y definir la mejor alternativa y selección al reconocimiento de la necesidad, tomando en consideración algunos factores: Costo de Compra Adquisición/Depreciación, Costo de Instalación, Costo del Proceso de Fabricación, Costo de Mano de Obra y Costo de Ciclo de Vida del Prototipo.

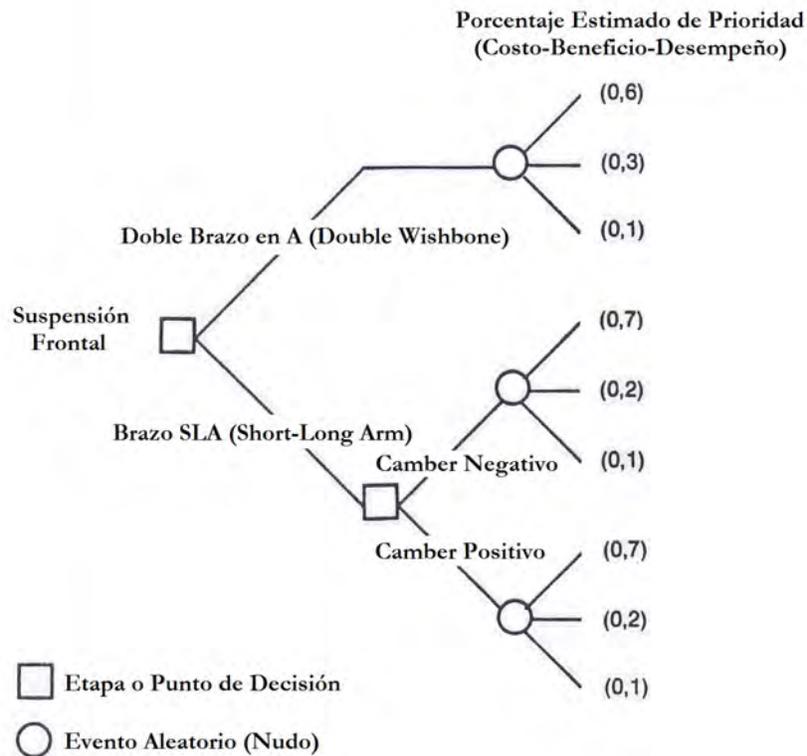


Fig. 5.2.b. Árbol de Decisión en la Selección de Sistema de Suspensión Frontal del FSAE.

### 5.3. TIEMPO ESTIMADO DE FABRICACIÓN.

El **Tiempo Estimado de Fabricación del Vehículo FSAE**, está en función de la secuencia de pasos o procesos que se establezcan y definan, como se mencionó en el apartado anterior; mediante la obtención de recursos económicos, selección de materiales, estructuración del diseño final, selección de procesos de manufactura que se emplearán para cada sistema, a través de las labores y tareas que realizarán cada uno de los integrantes del equipo, la fabricación de los sistemas, sub-sistemas y ensambles, así como su respectivo sistema definido. Todo esto aunado en base a un calendario de metas y avances que se generen dentro del semestre.

Para llevar a cabo el *Análisis del Tiempo Estimado de Fabricación Global del Vehículo FSAE*, es necesario dividir los sistemas del mismo, en sub-sistemas o en componentes por categoría. Esto permite definir y dividir las tareas y labores encomendadas a cada miembro del equipo, trabajando por separado cada uno de los sistemas y sub-sistemas, realizando dicho estudio de forma individual. A continuación se desglosa cada sistema y sus respectivos sub-sistemas.<sup>[3]</sup>



### 1) Sistema de Frenos.

Fluido o Líquido de Freno	Bomba de Freno	Cilindros Maestros
Líneas de Freno	Discos de Freno	Válvulas de Suministro de Fluido
Barra de Balance	Mordazas	
Mangueras	Pastillas de Freno	

### 2) Motor y Tren Motriz.

Motor (Marca/Manufactura)	Carburador	Tanque de Combustible
Desplazamiento	Bujías	Bomba de Combustible
Múltiple de Admisión	Filtro de Aceite	Bomba de Agua
Múltiple de Escape	Inyectores de Combustible	Regulador de Presión
Restrictor (Válvula)	Filtro de Aire	Filtro de Combustible
Silenciador	Radiador(es)	Cadenas/Poleas
Tubo de Escape	Líneas de Enfriamiento	Embrague
Sistema de Lubricación	Mangueras	Diferencial
Escudos o Resguardos	Ventilador(es)	Juntas Universales/Homocinéticas
Sistema de Ignición	Cables del Distribuidor	Caja de Cambios

### 3) Estructura y Carrocería.

Estructura/Tubería	Cable de Cambios	Material de la Carrocería
Proceso de Soldadura/Material	Mecanismo de Cambios	Proceso de Fabricación Carrocería
Montaje Integral del Armazón	Embrague (Montaje)	Método de Unión Carrocería
Panel del Piso y Pared de Fuego	Pedales	Montaje Integral ambos Sistemas
Procesos de Maquinado de Tubo (corte, doblado, esmerilado, etc.)	Sistema Dirección (Montaje)	Ensamble Final del Vehículo
	Sistema Suspensión (Montaje)	Alerones/Aerodinámica

### 4) Instrumentos, Cableado Eléctrico y Accesorios.

Electrónica del Motor	Fusibles	Bulbo de Aceite
Conectores/Seguros Cableado	Acumuladores	Bulbo de Freno
Tacómetro	Solenoides	Bulbo de Combustible
Velocímetro	Luces de Indicación/Tablero	Bulbo de Temp. Agua
Odómetro	Botón Encendido del Motor	Alternador
Panel de Instrumentos	Kill-Switch	Termostato



## 5) Sistema de Suspensión y Amortiguación.

Mecanismos de Suspensión	Amortiguadores	Push Rods
Brazos de Suspensión Delanteros	Muelles/Resortes	Balancines (Rockers)
Brazos de Suspensión Traseros	Rótulas/Bujes	Tuercas/Tornillos/Roldanas/Pernos

## 6) Sistema de Dirección.

Caja de Dirección	Rótulas/Bujes	Volante de Liberación Rápida
Piñón/Cremallera	Juntas Universales	Sistema de Liberación Rápida
Brazos de Dirección	Mazas de Dirección	Tuercas/Tornillos/Pernos

## 7) Rines, Rodamientos y Neumáticos.

Rines	Válvulas de Presión	Mazas Delanteras
Tuercas de Sujeción (Birlos)	Calibración de los Neumáticos	Mazas Traseras
Neumáticos	Cojinetes/Rodamientos (Bolas)	Pasadores/Pernos/Arandelas

## 8) Misceláneos, Acabados y Ensamble.

Asiento/Respaldo	Cinturones de Seguridad	Pintura Estructura
Extintor	Espejos	Pintura Carrocería
Atenuador de Impacto	Resguardos	Tuning
Tuercas/Tornillos	Refacciones	Alerones (Si Aplica)

Una vez realizada la división de los sistemas y de sus respectivos subsistemas por categorías, debe efectuarse un calendario de actividades, en el cual, deben incluirse las metas, logros y avances del vehículo, así como el tiempo estimado de fabricación de los sistemas y del proyecto en su totalidad como se describe a continuación.

Este calendario de actividades, deberá anexarse dentro de una carpeta por sistemas y por cada miembro del equipo, así como presentarlo al capitán del equipo para revisar el avance y entregarlo al asesor del proyecto para su evaluación. Además deberá entregarse en conjunto con el formato oficial para la presentación el día de la competencia.



A continuación se propone una tabla-calendario (Tabla 5.3.a.), que es conocida como *Línea de Tiempo Virtual*, que ayuda a mantener un orden en la dirección del proyecto, donde se involucra el tiempo aproximado de fabricación y ensamble que requiere cada sistema, en un tiempo aproximado de un semestre.

Se establece un periodo de un semestre, ya que es el tiempo en que pueden obtenerse los recursos económicos para llevar a cabo la fabricación del vehículo, así como las pruebas y ajustes finales, y la inscripción o registro para la participación en la competencia.

Es importante mencionar, que el registro de la competencia tiene un límite de tiempo y se realiza en diferentes fechas del semestre, así como el registro es en línea mediante la página de Internet de la SAE, es decir, que el equipo debe tomar en cuenta los pormenores que puedan anexarse al reglamento o que surjan durante ese año para la realización del proyecto y, además, deben tenerse listos los reportes escritos (en idioma inglés) de cada sistema, para enviarlos dentro de la inscripción en base al formato establecido por la FSAE.

Nombre de la Labor	Semanas de Trabajo																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Estructura, Piso y Firewall	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
Suspensión Delantera					■	■	■	■	■	■														
Suspensión Trasera					■	■	■	■	■	■														
Sistema de Dirección											■	■	■	■										
Mazas de la Suspensión					■	■	■	■	■															
Sistema de Sujeción de la Suspensión										■	■	■	■											
Mazas de la Dirección								■																
Sistema de Amortiguación										■	■	■	■											
Montaje del Motor										■	■	■	■											
Montaje del Tren Motriz										■	■	■	■											
Ejes de Transmisión									■															
Sistema de Frenado										■	■	■	■											
Ensamble de Pedales						■																		
Mecanismo de Cambios y Embrague								■	■	■	■	■												
Rines y Neumáticos													■	■	■	■								
Sistema Eléctrico											■	■	■	■										
Sistema de Combustible													■	■	■	■								
Sistema de Enfriamiento													■	■	■	■								
Cableado, Interruptores, Sensores													■	■	■	■								
Equipamiento y Seguridad													■	■	■	■								
Montaje de la Carrocería / Tuning															■	■	■	■						
Pintura y Acabados																	■	■	■	■				
Prueba en Pista y Configuración Final																			■	■	■	■		
Reporte a Mitad de Semestre													■	■	■	■								
Reporte Final																						■	■	
Presentación Escrita y Oral																							■	■

Tabla 5.3.a. Línea de Tiempo Virtual Aproximada para la Fabricación y Ensamble de Sistemas del Vehículo FSAE U. N. A. M.

Esta Línea de Tiempo Virtual, muestra las semanas de trabajo de las labores por actividad de todos los sistemas y sub-sistemas involucrados dentro del vehículo, en base a las metas, avances y propuestas establecidas para un periodo de un semestre de los Procesos de Manufactura y Ensamble del Vehículo Fórmula SAE U. N. A. M.



*Nota:* Este calendario puede ser modificado durante el semestre por cada integrante, en base a cambios fortuitos, variaciones repentinas o imprevistos (reducción o ampliación de horas y semanas), e incluso por la complejidad o dificultad en la adquisición o fabricación de los sistemas, por la diversa alternativa en búsqueda de recursos económicos (patrocinios), entre otros.

Además de realizar un calendario por semanas, se requiere también la realización de un calendario aproximado de horas de trabajo y/o de ensamble de los sistemas que conforman al vehículo. Esto ayuda a conocer el *Costo Aproximado de Mano de Obra Total Generado* por las labores que involucran cada sistema y sub-sistema, así como el costo total de mano de obra del vehículo y para la realización del reporte de costos final del vehículo FSAE.

A continuación, se propone una tabla-calendario semanal (Tabla 5.3.b.), que involucra las horas de trabajo aproximadas para cada sistema, en base a las piezas y sistemas fabricados y comprados del Vehículo FSAE, así como las labores y número de integrantes del equipo, divididas por sistemas y sub-sistemas.

Nombre de la Labor	Semanas	Tiempo (Horas)	No. Integrantes / Labor
Estructura, Piso y Firewall	9	54	2 @ 3
Suspensión Delantera	5	24	2
Suspensión Trasera	5	24	2
Sistema de Dirección	3	12	2
Mazas de la Suspensión	3	14	2
Sistema de Sujeción de la Suspensión	1.5	8	2
Mazas de la Dirección	1	6	1
Sistema de Amortiguación	2	14	2
Montaje del Motor	1	3	3
Montaje del Tren Motriz	2	3	2
Ejes de Transmisión	1	6	2
Sistema de Frenado	2	14	2
Ensamble de Pedales	1	6	2
Mecanismo de Cambios y Embrague	2.5	18	2
Rines y Neumáticos	1.5	6	1
Sistema Eléctrico	1	5	1
Sistema de Combustible	1	3	1
Sistema de Enfriamiento	1	6	1
Cableado, Interruptores, Sensores	2	6	2
Equipamiento y Seguridad	1.5	8	1
Montaje de la Carrocería / Tuning	3	18	3
Pintura y Acabados	2.5	15	3
Prueba en Pista y Configuración Final	2.5	22	Miembros del Equipo
Reporte a Mitad de Semestre	2	24	Miembros del Equipo
Reporte Final	2	24	Miembros del Equipo
Presentación Escrita y Oral	3	36	Miembros del Equipo
<b>TOTAL HORAS DE TRABAJO APROXIMADAS</b>		<b>379</b>	

Tabla 5.3.b. Línea de Tiempo Virtual Aproximada, dividida en Labores, Semanas, Horas de Trabajo (Mano de Obra) y Miembros del Equipo por Tareas, para la Fabricación y Ensamble de los Sistemas del Vehículo FSAE U. N. A. M.



#### 5.4. COSTO DE OPERACIÓN DE MANUFACTURA.

Debido a que existen muchos procesos industriales para fabricar piezas o productos finales en el mercado, a continuación se presentan dos tablas (Tabla 5.4.a. y Tabla 5.4.b.) donde se especifican los costos de adquisición de algunos materiales empleados a considerar y los costos de los procesos para las operaciones de maquinado más comunes en dólares (USD) como lo especifica el reglamento vigente.<sup>[3]</sup>

*Nota:* Cuando el proceso de manufactura, no se encuentre en esta tabla o, su unidad de medida sea el tiempo, entonces el costo total se determinará por la fracción de tiempo en minutos, multiplicado por del costo de la mano de obra.

Costo del Material en Dólares (USD)		Densidad
Acero Templado Bajo en Carbono: 1010, 1018, 1025	\$0.30 /lb	0.284 [lb/in <sup>3</sup> ]
Acero Aleado: 4130, Cromo Molibdeno	\$0.60 /lb	0.284 [lb/in <sup>3</sup> ]
Aluminio	\$1.25 /lb	0.0975 [lb/in <sup>3</sup> ]
Magnesio	\$2.25 /lb	0.0648 [lb/in <sup>3</sup> ]
Materiales Aleados sin Grafito	\$40.00 /lb	-
Materiales Aleados con Grafito	\$100.00 /lb	-

Tabla 5.4.a. Costos de Algunos Materiales Empleados.

Costos de Operación de Maquinado	
Operación	Precio en USD
Mano de Obra	\$35.00 /hora
Maquinado en CNC (tiempo)	\$70.00 /hora
Proceso de Soldadura	\$0.35 /in
Corte de Tubo	\$0.40 /in
Doblado de Tubo	\$0.75 /doblez
Corte No Metálico	\$0.20 /in
Contorno Circular de Tubo	\$0.75 /in
Taladrado	\$0.35 /agujero
Perforado	\$0.35 /agujero
Abocardado	\$0.35 /agujero
Corte de Hoja o Lámina de Metal	\$0.20 /corte
Punzonado en Hoja o Lámina de Metal	\$0.20 /agujero
Doblado de Hoja o Lámina de Metal	\$0.05 /doblez
Estampado en Hoja de Metal (Proceso)	\$0.05 /in <sup>2</sup>
Fundición en Arena (Costo del Proceso)	\$3.00 /lb
Fundición en Molde (Costo del Proceso)	\$4.00 /lb
Fundición por Inyección (Costo del Proceso)	\$8.00 /lb
Inyección de Plásticos (Costo del Proceso)	\$2.75 /lb
Fresado	\$25.00 /hora
Torneado	\$15.00 /hora
Ensamble de Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	\$0.02 c/u

Tabla 5.4.b. Costos de Operación de Maquinado más Comunes.



## 5.5. COSTO TOTAL DEL VEHÍCULO FSAE.

Una vez realizada la división de los sistemas y de sus respectivos subsistemas por categorías, debe llevarse a cabo el análisis de costos del vehículo como se describe a continuación, en base al formato oficial que deberá entregarse para la competencia el día de la presentación:<sup>[3 y Apéndice I.]</sup>

### **FORMA A: Contiene la Descripción de los Componentes que Conforman el Subsistema.**

1. *Nombre del Subsistema.*
2. *Nombre de la Pieza.*
3. *Describir o Especificar si la Pieza es Comprada o Fabricada.*
4. *Marca / Fabricante / Proveedor.*
5. *Cantidad de Material.*
6. *Costo del Material.*
7. *Costo de Mano de Obra.*
8. *Costo de Material Diferido.*
9. *Total Diferido.*
10. *Tiempo (horas) del Ensamble del Subsistema.*

▪ **TOTAL GENERADO.**

### **FORMA B: Contiene la Descripción del Proceso de Manufactura que se Realice para cada Pieza.**

1. *Descripción de la Pieza a Manufacturar.*
2. *Material.*
3. *Monto/Peso/Unidad/Costo por Unidad.*
4. *Mano de Obra.*
5. *Proceso de Manufactura.*
6. *Monto/Cantidad/Unidad/Costo por Unidad.*

▪ **SUBTOTAL.**

**Nota:** La **Forma B** se anexará a la **Forma A** de cada subsistema, además, deberán desglosarse y dividirse los gastos totales directos generados (costo total de piezas, elementos, procesos, refacciones que conforman al vehículo) y los gastos totales indirectos como requisito para la obtención de patrocinios (misceláneos, gastos de transportación, hospedaje, inscripción, etc., entre otros) que involucran y ayudan a la participación del equipo dentro de la competencia y la representación de la Universidad en el extranjero.



**Subsistema: Motor Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Motor	X		Honda CBR 600 RR (2009)	1	\$5,497.00	\$0.00	\$5,497.00	\$0.00	\$5,497.00
2	Carburador	X		ARRECHE HONDA DAX 19.0	1	\$122.00	\$0.00	\$122.00	\$0.00	\$122.00
3	Filtro de Aire	X		K&N HONDA CBR 600	2	\$7.50	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00
4	Cables de Gas (Chicotes)	X		APRILIA	2	\$9.50	\$0.00	\$19.00	\$0.00	\$19.00
5	Toma de Aire del Carburador	X		SCOOTER Universal	1	\$10.00	\$0.00	\$10.00	\$0.00	\$10.00
6	Filtro de Potencia	X		28 [mm] a 90[°]	1	\$23.00	\$0.00	\$23.00	\$0.00	\$23.00
7	Filtro de Aceite	X		Honda CBR 600	1	\$13.50	\$0.00	\$13.50	\$0.00	\$13.50
8	Bomba de Agua	X		SUZUKI KATANA	1	\$27.50	\$0.00	\$27.50	\$0.00	\$27.50
9	Depósito de Combustible	X		BULTACO	1	\$121.00	\$0.00	\$121.00	\$0.00	\$121.00
10	Radiador	X		NRG RUNNER	1	\$152.70	\$0.00	\$152.70	\$0.00	\$152.70
11	Tubo de Escape - Silenciador	X		AKRAPOVIC CBR600 RACING	1	\$375.00	\$0.00	\$375.00	\$0.00	\$375.00
12	Bomba de Combustible	X		Honda CBR 600	1	\$45.00	\$0.00	\$45.00	\$0.00	\$45.00
13	Filtro de Combustible	X		Honda CBR 600	1	\$25.00	\$0.00	\$25.00	\$0.00	\$25.00
14	Mangueras Combustible	X		Universales (Juego)	1	\$32.00	\$0.00	\$32.00	\$0.00	\$32.00
15	Mangueras Radiador	X		Universales (Juego)	1	\$57.00	\$0.00	\$57.00	\$0.00	\$57.00
16	Partes de Recambio Motor	X		Diversas Marcas Comerciales	0	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
17	Tomillería y Tuercas		X	Universales	1	\$20.00	\$0.00	\$20.00	\$0.00	\$20.00
18	Múltiple de Admisión		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$15.23	\$0.00	\$15.23	\$0.00	\$15.23
19	Proceso / Manufactura		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$43.15	\$0.00	\$43.15	\$43.15
20	Montaje del Motor		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$70.00	\$0.00	\$70.00	\$70.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

**Totales**

	\$350.00	\$350.00
	\$6,569.93	\$113.15
		\$6,683.08

**Total:** \$7,033.08

**Subsistema: Motor Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Motor

Descripción: Múltiple de Admisión

Artículo	Material:	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1		Cuerpo Múlt. Admisión	Aluminio	0.0975	[lb/in³]	90	8.78	\$1.25	\$10.97
2		Tubos de Admisión	Tubería de Aluminio	0.0975	[lb/in³]	35	3.41	\$1.25	\$4.27
3							0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>									<b>\$15.23</b>

**Mano de Obra: Fabricación del Múltiple de Admisión**

Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte de Tubo	5.00	[corte/in]	\$0.40
5	Proceso de Fundición en Arena	7.80	[lb]	\$3.00
6	Proceso de Soldadura	5.00	[in]	\$0.35
7	Taladrado	10.00	[agujero]	\$0.35
8	Maquinado-Fresado	0.50	[hora]	\$25.00
9				0.00
10				0.00
<b>Subtotal:</b>				<b>43.15</b>

Total de Material 15.23  
 Total Mano de Obra 43.15  
 Total Subensamblable 58.38

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Tren de Transmisión Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Juntas Universales	X		Universales (Juego)	2	\$20.00	\$0.00	\$40.00	\$0.00	\$40.00
2	Juntas Homocinéticas	X		Universales (Juego)	2	\$50.00	\$0.00	\$100.00	\$0.00	\$100.00
3	Semiejes de Transmisión		X	Tubo Indust. 1018 [53.0/Foot]	2	\$4.52	\$0.00	\$9.03	\$0.00	\$9.03
4	Coples		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	2	\$12.19	\$0.00	\$24.38	\$0.00	\$24.38
5	Cuñas / Pernos		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$2.00	\$0.00	\$2.00	\$0.00	\$2.00
6	Proceso / Manufactura		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$136.66	\$0.00	\$136.66	\$136.66
7	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00	\$15.00
8								\$0.00	\$0.00	\$0.00
9								\$0.00	\$0.00	\$0.00
10								\$0.00	\$0.00	\$0.00
11								\$0.00	\$0.00	\$0.00
12								\$0.00	\$0.00	\$0.00
13								\$0.00	\$0.00	\$0.00
14								\$0.00	\$0.00	\$0.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

	\$210.00	\$210.00
<b>Totales</b>	<b>\$175.41</b>	<b>\$327.07</b>

**Total:** **\$537.07**

**Subsistema: Tren de Transmisión Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Tren de Transmisión

Descripción: Árbol de Transmisión

Material:

Artículo	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Semiejes de Transmisión	Acero 1018 Ø:1 [in]	0.284	[in]	53	15.05	\$0.30	\$4.52
2	Coples	Aluminio	0.0975	[lb/in³]	100	9.75	\$1.25	\$12.19
3	Cuñas y Cuñeros	Barra Solera (Acero)		[ft]	1	0.00	\$2.00	\$2.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$18.70</b>

**Mano de Obra: Fabricación del Tren de Transmisión**

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte de Tubo	2	[corte/in]	\$0.40	0.80
5	Corte Barra de Acero	2	[in]	\$0.18	0.36
6	Maquinado-Torneado	8	[hora]	\$15.00	120.00
7	Taladrado	8	[agujero]	\$0.35	2.80
8	Maquinado-Fresado	0.50	[hora]	\$25.00	12.50
9	Ensamble Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	10	[c/u]	\$0.02	0.20
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>136.66</b>

Total de Material 18.70  
 Total Mano de Obra 136.66  
 Total Subensamble 155.36

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Rines y Neumáticos Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Rines Delanteros	X		SPEED ROAD R15 15.0x6.5	2	\$65.00	\$0.00	\$130.00	\$0.00	\$130.00
2	Rines Traseros	X		SPEED ROAD R15 15.0x8.0	2	\$67.00	\$0.00	\$134.00	\$0.00	\$134.00
3	Llantas Delanteras	X		GOODYEAR Hoosier 19.5x6.5	2	\$137.50	\$0.00	\$275.00	\$0.00	\$275.00
4	Llantas Traseras	X		GOODYEAR Hoosier 19.5x8.0	2	\$155.00	\$0.00	\$310.00	\$0.00	\$310.00
5	Rodamientos (Bolas)	X		VFR750 HONDA (Juego 2 Pzas.)	2	\$25.00	\$0.00	\$50.00	\$0.00	\$50.00
6	Válvulas de Presión	X		Universales	6	\$2.00	\$0.00	\$12.00	\$0.00	\$12.00
7	Tuercas de Sujeción	X		Universales	4	\$7.00	\$0.00	\$28.00	\$0.00	\$28.00
8	Pasadores/Pernos/Arandelas	X		Universales (Pieza)	15	\$0.10	\$0.00	\$1.50	\$0.00	\$1.50
9	Mazas Delanteras		X	Aluminio (CNC)	2	\$5.73	\$0.00	\$11.46	\$0.00	\$11.46
10	Mazas Traseras		X	Aluminio (CNC)	2	\$5.73	\$0.00	\$11.46	\$0.00	\$11.46
11	Proceso / Manufactura		X	Lab. de Manufactura Avanzada	2	\$0.00	\$367.35	\$0.00	\$734.70	\$734.70
12	Montaje del Sistema		X	Lab. de Manufactura Avanzada	1	\$0.00	\$20.00	\$0.00	\$20.00	\$20.00
13	Neumáticos de Refacción	X		GOODYEAR Hoosier (Del./Tras.)	0	\$222.50	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
14								\$0.00	\$0.00	\$0.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

	\$210.00	\$210.00
<b>Totales</b>	\$963.41	\$754.70
		\$1,718.11

**Total:** \$1,928.11

**Subsistema: Rines y Neumáticos Forma B**

Línea **1** Sobre la Forma A del Subsistema: Rines y Neumáticos

Descripción: Conjunto - Maza de Suspensión y de Acoplamiento a las Ruedas

Material:

Artículo	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Maza Directriz	Aluminio	0.0975	[lb/in <sup>3</sup> ]	47	4.58	\$1.25	\$5.73
2	Maza Motriz	Aluminio	0.0975	[lb/in <sup>3</sup> ]	47	4.58	\$1.25	\$5.73
3						0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$11.46</b>

**Mano de Obra: Fabricación de Conjunto-Mazas**

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Maquinado en CNC	4	[hora]	\$70.00	280.00
5	Maquinado-Fresado	2	[hora]	\$25.00	50.00
6	Maquinado-Torneado	2	[hora]	\$15.00	30.00
7	Taladrado	16	[agujero]	\$0.35	5.60
8	Proceso de Soldadura	5	[in]	\$0.35	1.75
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>367.35</b>

Total de Material **11.46**  
 Total Mano de Obra **367.35**  
 Total Subensamblable **378.81**

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Sistema de Dirección Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Caja de Dirección Completa	X		STEERING WHEEL	1	\$175.00	\$0.00	\$175.00	\$0.00	\$175.00
2	Piñón y Cremallera	X		S-WHEEL (Refacción Engrane)	0	\$75.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
3	Brazos de Dirección		X	Aluminio Ø = ½ [inch]	2	\$4.27	\$0.00	\$8.53	\$0.00	\$8.53
4	Rótulas de Dirección	X		LINEAR BEARING (RACE CAR)	4	\$10.00	\$0.00	\$40.00	\$0.00	\$40.00
5	Volante de Liberación Rápida	X		FORMULA STEERING WHEEL	1	\$209.00	\$0.00	\$209.00	\$0.00	\$209.00
6	Juntas Universales	X		Universales	1	\$20.00	\$0.00	\$20.00	\$0.00	\$20.00
7	Tomillería, Tuercas, Pernos	X		Universales	1	\$15.00	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00
8	Proceso / Manufactura		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$2.36	\$0.00	\$2.36	\$2.36
9	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$25.00	\$0.00	\$25.00	\$25.00
10								\$0.00	\$0.00	\$0.00
11								\$0.00	\$0.00	\$0.00
12								\$0.00	\$0.00	\$0.00
13								\$0.00	\$0.00	\$0.00
14								\$0.00	\$0.00	\$0.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

	\$280.00	\$280.00
<b>Totales</b>	\$467.53	\$494.89

**Total:** \$774.89

**Subsistema: Sistema de Dirección Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Sistema de Dirección

Artículo	Descripción:		Brazos de Dirección					
	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Brazos de Dirección	Aluminio	0.0975	[lb/in <sup>3</sup> ]	35	3.41	\$1.25	\$4.27
2						0.00		\$0.00
3						0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$4.27</b>

**Mano de Obra: Fabricación de los Brazos de Dirección**

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte de Tubo	2	[corte/in]	\$0.40	0.80
5	Proceso de Soldadura	4	[in]	\$0.35	1.40
6	Ensamble Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	8	[c/u]	\$0.02	0.16
7					0.00
8					0.00
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>2.36</b>

Total de Material 4.27  
 Total Mano de Obra 2.36  
 Total Subensamble 6.63

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Sistema de Suspensión Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Brazos de Susp. Del./Sup.		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	10	\$1.00	\$0.00	\$10.00	\$0.00	\$10.00
2	Brazos de Susp. Del./Inf.		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	5	\$1.00	\$0.00	\$5.00	\$0.00	\$5.00
3	Brazos de Susp. Tras./Sup.		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	10	\$1.00	\$0.00	\$10.00	\$0.00	\$10.00
4	Brazos de Susp. Tras./Inf.		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	5	\$1.00	\$0.00	\$5.00	\$0.00	\$5.00
5	Push Rods		X	Tubo Indust. 1018 Ø:½" [\$1.95/Foot]	7	\$1.95	\$0.00	\$13.65	\$0.00	\$13.65
6	Rockers		X	Placa de Solera (A:¼ x L:4 [inch])	3	\$12.00	\$0.00	\$36.00	\$0.00	\$36.00
7	Rótulas Esféricas	X		LINEAR BEARING (RACE CAR)	20	\$10.00	\$0.00	\$200.00	\$0.00	\$200.00
8	Amortiguadores con Damper	X		METRAMORFO Reforzado (c/u)	4	\$172.00	\$0.00	\$688.00	\$0.00	\$688.00
9	Muelles (Incl. en el amort.)	X		HONDA METRAMORFO (c/u)	0	\$75.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
10	Tornillería, Tuercas, Pernos	X		Universales	1	\$30.00	\$0.00	\$30.00	\$0.00	\$30.00
11	Proceso / Manufactura 1		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$17.76	\$0.00	\$17.76	\$17.76
12	Proceso / Manufactura 2		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$17.76	\$0.00	\$17.76	\$17.76
13	Proceso / Manufactura 3		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$23.77	\$0.00	\$23.77	\$23.77
14	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$70.00	\$0.00	\$70.00	\$70.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs] **16** Costo Ensamble Subsistema

**Totales**

	\$560.00	\$560.00
	\$997.65	\$1,126.94

**Total: \$1,686.94**

**Subsistema: Sistema de Suspensión Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Sistema de Suspensión

Descripción: Suspensión Frontal

Artículo	Material:	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1		Brazos Del./Sup.	Acero 1018				0.00		\$0.00
2		Brazos Del./Inf.	Acero 1018				0.00		\$0.00
3		Push Rods	Acero 1018				0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>									<b>\$0.00</b>

**Mano de Obra: Fabricación de la Suspensión Frontal y Rótulas de Empuje**

Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte de Tubo	10	[in]	\$0.40 4.00
5	Contorno Circular de Tubo (Esmerilado)	12	[in]	\$0.75 9.00
6	Proceso de Soldadura	12	[in]	\$0.35 4.20
7	Ensamble de Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	28	[c/u]	\$0.02 0.56
8				0.00
9				0.00
10				0.00
<b>Subtotal:</b>				<b>17.76</b>

Total de Material 0.00  
 Total Mano de Obra 17.76  
 Total Subensamblable 17.76

Para Forma A Línea 1



Línea 2 Sobre la Forma A del Subsistema: Sistema de Suspensión

Artículo	Descripción:							
	Material:	Suspensión Posterior						
	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Brazos Tras./Sup.	Acero 1018				0.00		\$0.00
2	Brazos Tras./Inf.	Acero 1018				0.00		\$0.00
3	Push Rods	Acero 1018				0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$0.00</b>

Mano de Obra: Fabricación de la Suspensión Posterior y Rótulas de Empuje

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte de Tubo	10	[in]	\$0.40	4.00
5	Contorno Circular de Tubo (Esmerilado)	12	[in]	\$0.75	9.00
6	Proceso de Soldadura	12	[in]	\$0.35	4.20
7	Ensamble de Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	28	[c/u]	\$0.02	0.56
8					0.00
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>17.76</b>

Línea 3 Sobre la Forma A del Subsistema: Sistema de Suspensión

Artículo	Descripción:							
	Material:	Balancines						
	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Rockers Delanteros	Solera				0.00		\$0.00
2	Rockers Traseros	Solera				0.00		\$0.00
3						0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$0.00</b>

Mano de Obra: Fabricación de los Balancines

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte de Placa	4	[in]	\$0.40	1.60
5	Contorno Circular (Esmerilado)	10	[in]	\$0.75	7.50
6	Proceso de Soldadura	20	[in]	\$0.35	7.00
7	Taladrado	21	[agujero]	\$0.35	7.35
8	Ensamble de Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	16	[c/u]	\$0.02	0.32
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>23.77</b>

Total de Material 0.00  
 Total Mano de Obra 23.77  
 Total Subensamble 23.77

Para Forma A Línea 3



**Subsistema: Estructura Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Parte Frontal (Bulkhead)		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	10	\$1.00	\$0.00	\$10.00	\$0.00	\$10.00
2	Zona de Impacto Frontal		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	5	\$1.00	\$0.00	\$5.00	\$0.00	\$5.00
3	Cabina y Cuerpo de Trabajo		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	20	\$1.00	\$0.00	\$20.00	\$0.00	\$20.00
4	Zona de Impacto Lateral		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	15	\$1.00	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00
5	Main y Front Roll Hoops		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	20	\$1.00	\$0.00	\$20.00	\$0.00	\$20.00
6	Abrazaderas de Bastidores		X	Tubo Indust. 1018 Ø:1" [\$1.0/Foot]	10	\$1.00	\$0.00	\$10.00	\$0.00	\$10.00
7	Piso (Hoja de Metal)		X	Hoja de Metal Indust. [\$30.0/Hoja]	1	\$30.00	\$0.00	\$30.00	\$0.00	\$30.00
8	Muro de Fuego (Firewall)		X	Hoja de Metal Indust. [\$30.0/Hoja]	0.5	\$30.00	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00
9	Electrodos (Recub. Epóxico)	X		ER70-S6 (Caja con 10 [kg])	1	\$38.00	\$0.00	\$38.00	\$0.00	\$38.00
10	Ensamble Integral Armazón		X	Ensamble (Mano de Obra)	0	\$0.00	\$75.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
11	Montaje Motor		X	Ensamble (Mano de Obra)	0	\$0.00	\$70.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
12	Montaje Transmisión		X	Ensamble (Mano de Obra)	0	\$0.00	\$45.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
13	Montaje Sist. Suj. Suspen.		X	Ensamble (Mano de Obra)	0	\$0.00	\$70.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
14	Montaje Sist. Dirección		X	Ensamble (Mano de Obra)	0	\$0.00	\$25.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
15	Montaje Carrocería		X	Ensamble (Mano de Obra)	0	\$0.00	\$135.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
16	Proceso / Manufactura		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$81.60	\$0.00	\$81.60	\$81.60
17	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$75.00	\$0.00	\$75.00	\$75.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

**Totales**

	<b>\$1,260.00</b>	<b>\$1,260.00</b>
	<b>\$163.00</b>	<b>\$156.60</b>

**Total: \$1,579.60**

**Subsistema: Estructura Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Estructura

Descripción: Armazón

Artículo

Material:

Artículo	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Tubería Circular	Acero 1018		[ft]	0	0.00	\$3.00	\$0.00
2	Hoja de Metal	ASTM A-36 1018		[sh]	0	0.00	\$9.50	\$0.00
3	Electrodo	Recubrim. Epóxico		[c/pza]	0	0.00	\$0.05	\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$0.00</b>

**Mano de Obra: Fabricación de la Estructura**

Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo	
4	Corte de Tubo	50	[in]	\$0.40	20.00
5	Doblado de Tubo	35	[doblez]	\$0.75	26.25
6	Abocardado / Esmerilado	35	[agujero]	\$0.35	12.25
7	Taladrado	10	[agujero]	\$0.35	3.50
8	Corte de Hoja o Lámina de Metal	10	[corte]	\$0.20	2.00
9	Doblado de Hoja o Lámina de Metal	2	[doblez]	\$0.05	0.10
10	Proceso de Soldadura	50	[in]	\$0.35	17.50
<b>Subtotal:</b>				<b>81.60</b>	

**Total de Material 0.00**  
**Total Mano de Obra 81.60**  
**Total Subensamblable 81.60**

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Sistema de Frenos Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Discos de Freno	X		NG 114	4	\$38.70	\$0.00	\$154.80	\$0.00	\$154.80
2	Bomba de Freno	X		APRILIA	1	\$93.50	\$0.00	\$93.50	\$0.00	\$93.50
3	Pinzas de Freno (Calipers)	X		RUNNER & FORMULA Ø32[mm]	4	\$107.00	\$0.00	\$428.00	\$0.00	\$428.00
4	Pastillas de Freno	X		FA-356 (Juego 2 Pzas.)	8	\$19.50	\$0.00	\$156.00	\$0.00	\$156.00
5	Pedales de Freno y Clutch	X		GUCCI SYSTEM	1	\$135.00	\$0.00	\$135.00	\$0.00	\$135.00
6	Luces de Freno	X		HONDA (Mica Plástica)	2	\$10.90	\$0.00	\$21.80	\$0.00	\$21.80
7	Manguera de Freno	X		HONDA (Mando Hidráulico)	4	\$8.00	\$0.00	\$32.00	\$0.00	\$32.00
8	Líneas de Freno	X		Tubería Aluminio	1	\$3.05	\$0.00	\$3.05	\$0.00	\$3.05
9	Tornillería y Tuercas	X		Universales	1	\$6.50	\$0.00	\$6.50	\$0.00	\$6.50
10	Válvulas de Suministro	X		BRAKE IT	2	\$74.50	\$0.00	\$149.00	\$0.00	\$149.00
11	Líquido de Freno	X		Esso	1	\$16.50	\$0.00	\$16.50	\$0.00	\$16.50
12	Proceso / Manufactura		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$1.60	\$0.00	\$1.60	\$1.60
13	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00	\$15.00
14								\$0.00	\$0.00	\$0.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

	\$490.00	\$490.00
<b>Totales</b>	\$1,196.15	\$1,212.75

**Total:** \$1,702.75

**Subsistema: Sistema de Frenos Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Sistema de Frenos

Descripción: Sistema de Frenos

Material:

Artículo	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Líneas de Freno	Aluminio	0.0975	[lb/in <sup>3</sup> ]	25	2.44	\$1.25	\$3.05
2						0.00		\$0.00
3						0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$3.05</b>

Mano de Obra: Líneas de Frenado

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte de Tubo	4	[in]	\$0.20	0.80
5	Doblado Tubo	16	[doblez]	\$0.05	0.80
6					0.00
7					0.00
8					0.00
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>1.60</b>

Total de Material 3.05  
 Total Mano de Obra 1.60  
 Total Subensamblable 4.65

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Equipamiento y Seguridad Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Casco	X		NZI CARRERA X	1	\$157.00	\$0.00	\$157.00	\$0.00	\$157.00
2	Traje de Conducción	X		FIA Gore-Tex	1	\$525.00	\$0.00	\$525.00	\$0.00	\$525.00
3	Asiento/Respaldo	X		SFI (Deportivo Estilo Fórmula)	1	\$117.50	\$0.00	\$117.50	\$0.00	\$117.50
4	Cinturones de Seguridad	X		FIA (5 Puntos)	1	\$113.50	\$0.00	\$113.50	\$0.00	\$113.50
5	Espejos Laterales	X		VESPA FLY HONDA	2	\$17.70	\$0.00	\$35.40	\$0.00	\$35.40
6	Extintor	X		MOYO (Polvo Seco)	1	\$77.30	\$0.00	\$77.30	\$0.00	\$77.30
7	Guantes	X		MOMO SPORTIVA (Juego/Par)	1	\$53.00	\$0.00	\$53.00	\$0.00	\$53.00
8	Proceso / Manufactura		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$8.44	\$0.00	\$8.44	\$8.44
9	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00	\$15.00
10								\$0.00	\$0.00	\$0.00
11								\$0.00	\$0.00	\$0.00
12								\$0.00	\$0.00	\$0.00
13								\$0.00	\$0.00	\$0.00
14								\$0.00	\$0.00	\$0.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

**Totales**

	\$280.00	\$280.00
<b>\$1,078.70</b>	<b>\$23.44</b>	<b>\$1,102.14</b>
<b>Total:</b>		<b>\$1,382.14</b>

**Subsistema: Equipamiento y Seguridad Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Equipamiento y Seguridad

Descripción: Equipamiento Interior/Exterior

Material:

Artículo	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Espejos	Polímero HD	Alta					\$0.00
2	Asiento / Extintor*	Poliuretano	Alta					\$0.00
3	Cinturones de Seguridad	Fibra Sintética	Alta					\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$0.00</b>

Mano de Obra: Instalación y Acabados

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Taladrado (Piso y Firewall)	12	[agujero]	\$0.35	4.20
5	Corte No Metálico (Carrocería)	20	[in]	\$0.20	4.00
6	Ensamble Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	12	[c/u]	\$0.02	0.24
7					0.00
8					0.00
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>8.44</b>

Total de Material	0.00
Total Mano de Obra	8.44
<b>Total Subensamblable</b>	<b>8.44</b>

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Sistema Eléctrico Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Batería (Acumulador)	X		PLATINUM 12[V] YB14-B2	1	\$45.00	\$0.00	\$45.00	\$0.00	\$45.00
2	Juego de Cables Distribuidor	X		HONDA YUPI 90 (Juego)	1	\$21.80	\$0.00	\$21.80	\$0.00	\$21.80
3	Bobina-Estator	X		CDI-HONDA	1	\$157.27	\$0.00	\$157.27	\$0.00	\$157.27
4	Encendido Motor (Marcha)	X		HONDA	1	\$135.90	\$0.00	\$135.90	\$0.00	\$135.90
5	Bulbo de Aceite	X		Universal	1	\$12.00	\$0.00	\$12.00	\$0.00	\$12.00
6	Bulbo de Freno	X		Universal	1	\$12.00	\$0.00	\$12.00	\$0.00	\$12.00
7	Bulbo de Combustible	X		Universal	1	\$12.00	\$0.00	\$12.00	\$0.00	\$12.00
8	Bulbo Temperatura de Agua	X		Universal	1	\$12.00	\$0.00	\$12.00	\$0.00	\$12.00
9	Termostato	X		Universal	1	\$15.00	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00
10	Atenuador de Impacto	X		ECU	1	\$63.50	\$0.00	\$63.50	\$0.00	\$63.50
11	Grupo Óptico (Luces)	X		6[V] / 21[W]	2	\$3.50	\$0.00	\$7.00	\$0.00	\$7.00
12	Apag. del Motor (Kill-Switch)	X		Genérica	2	\$37.00	\$0.00	\$74.00	\$0.00	\$74.00
13	Cableado y Resguardos	X		Universal (Costo Neto Material)	1	\$175.00	\$0.00	\$175.00	\$0.00	\$175.00
14	Instrumentos	X		GEKO READING	1	\$235.00	\$0.00	\$235.00	\$0.00	\$235.00
15	Controles Maestros (On-Off)	X		Genérica	2	\$25.00	\$0.00	\$50.00	\$0.00	\$50.00
16	Alternador	X		Universal	1	\$15.00	\$0.00	\$15.00	\$0.00	\$15.00
17	Transponder	X		AMB TranX260	1	\$375.00	\$0.00	\$375.00	\$0.00	\$375.00
18	Ventilador	X		HONDA	1	\$135.00	\$0.00	\$135.00	\$0.00	\$135.00
19	Proceso / Manufactura		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$4.65	\$0.00	\$4.65	\$4.65
20	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$25.00	\$0.00	\$25.00	\$25.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

**Totales**

	\$227.50	\$227.50
	\$1,552.47	\$1,582.12

**Total:** \$1,809.62

**Subsistema: Sistema Eléctrico Forma B**

Línea **1** Sobre la Forma A del Subsistema: Sistema Eléctrico

Descripción: Sistema Eléctrico e Instrumentación

Material:

Artículo	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Instrumentos					0.00		\$0.00
2	Cableado					0.00		\$0.00
3	Botones/Interruptores					0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$0.00</b>

**Mano de Obra: Instalación de Instrumentos y Extras**

Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Perforado (Panel Instrumentos)	6 [agujero]	\$0.35	2.10
5	Corte No Metálico (Panel Instrumentos)	2 [in]	\$0.20	0.40
6	Punzonado (Firewall Kill-Switch)	1 [agujero]	\$0.20	0.20
7	Taladrado (Firewall-Cableado)	5 [agujero]	\$0.35	1.75
8	Ensamble Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	10 [c/u]	\$0.02	0.20
9				0.00
10				0.00
<b>Subtotal:</b>				<b>4.65</b>

Total de Material 0.00  
 Total Mano de Obra 4.65  
 Total Subensamblable 4.65

Para Forma A Línea 1



**Subsistema: Carrocería Forma A**

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra	Total Diferido
1	Fibra de Vidrio		X	Costo Total Aprox. Material	1	\$170.00	\$0.00	\$170.00	\$0.00	\$170.00
2	Pintura	X		COMEX (Costo Total Material)	1	\$75.00	\$0.00	\$75.00	\$0.00	\$75.00
3	Extras (Estopa / Pegamento)	X		Diversos	1	\$50.00	\$0.00	\$50.00	\$0.00	\$50.00
4	Alerones (*Opcional)		X	Materiales Diversos	1	\$105.00	\$0.00	\$105.00	\$0.00	\$105.00
5	Proceso / Manufactura (1)		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$129.54	\$0.00	\$129.54	\$129.54
6	Proceso / Manufactura (*2)		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$13.16	\$0.00	\$13.16	\$13.16
7	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$135.00	\$0.00	\$135.00	\$135.00
8								\$0.00	\$0.00	\$0.00
9								\$0.00	\$0.00	\$0.00
10								\$0.00	\$0.00	\$0.00
11								\$0.00	\$0.00	\$0.00
12								\$0.00	\$0.00	\$0.00
13								\$0.00	\$0.00	\$0.00
14								\$0.00	\$0.00	\$0.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs]  Costo Ensamble Subsistema

	\$1,050.00	\$1,050.00	
<b>Totales</b>	\$400.00	\$277.70	\$677.70

**Total:** \$1,727.70

**Subsistema: Carrocería Forma B**

Línea 1 Sobre la Forma A del Subsistema: Carrocería

Artículo	Descripción:	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1	Carrocería	Fibra de Vidrio				0.00		\$0.00
2						0.00		\$0.00
3						0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>								<b>\$0.00</b>

**Mano de Obra: Fabricación de la Carrocería**

Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo	
4	Manufactura (Fibra de Vidrio)	75	[foot]	\$1.50	112.50
5	Corte No Metálico (Fibra de Vidrio)	70	[in]	\$0.20	14.00
6	Perforado (Fibra Plástica)	8	[agujero]	\$0.35	2.80
7	Ensamble Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	12	[c/u]	\$0.02	0.24
8					0.00
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>				<b>129.54</b>	

Total de Material 0.00  
 Total Mano de Obra 129.54  
 Total Subensamblable 129.54

Para Forma A Línea 1

5. Análisis de Costos del Vehículo Fórmula SAE.



Subsistema: Alerones (\*Opcional) Forma B

Línea 2 Sobre la Forma A del Subsistema: Carrocería

Descripción: Alerones/Spoilers

Artículo	Material:	Nombre de la Pieza	Material	Densidad	Unidad	Monto	Peso	\$/Unidad	Costo
1		Alerones Front./Tras.	Fibra de Vidrio				0.00		\$0.00
2		Alerones Front./Tras.	Madera (Triplay)				0.00		\$0.00
3		Alerones Front./Tras.	Resina				0.00		\$0.00
<b>Subtotal:</b>									<b>\$0.00</b>

Mano de Obra: Fabricación de los Alerones

	Proceso de Manufactura	Monto / Cantidad	Unidad	\$/Unidad	Costo
4	Corte No Metálico (Fibra de Vidrio)	50	[in]	\$0.20	10.00
5	Perforado Material No Metálico	4	[agujero]	\$0.35	1.40
6	Corte No Metálico (Madera)	8	[in]	\$0.20	1.60
7	Ensamble Tuercas, Tornillos, Pernos, etc.	8	[c/u]	\$0.02	0.16
8					0.00
9					0.00
10					0.00
<b>Subtotal:</b>					<b>13.16</b>

Total de Material 0.00

Total Mano de Obra 13.16

Para Forma A Línea 2

Total Subensamblable 13.16

Subsistema: Transmisión Forma A

Pieza	Nombre de la Pieza	Comprada	Fabricada	Marca/Fabricante/Proveedor	Cantidad	Costo de Material	Costo de Mano de Obra	Costo de Material Diferido	Costo de Mano de Obra Diferido	Total Diferido
1	Embrague Total	X		PRO RACE HONDA	1	\$237.00	\$0.00	\$237.00	\$0.00	\$237.00
2	Muelles de Embrague	X		Clutch HONDA CBR 600 SH125	0	\$18.45	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
3	Cadena de Transmisión	X		DID 520V/104 RETENES	0	\$75.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
4	Campana de Embrague	X		HONDA MAZAS EMBRAGUE	0	\$34.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
5	Discos de Embrague	X		MOTOR AM	0	\$33.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
6	Embrague Multidisco	X		HONDA CBR 600	0	\$138.18	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
7	Chicote Hidráulico	X		HONDA / SUZUKI / KTM	1	\$134.00	\$0.00	\$134.00	\$0.00	\$134.00
8	Chicote de Embrague	X		HONDA CBR 600	2	\$23.60	\$0.00	\$47.20	\$0.00	\$47.20
9	Mecanismo de Cambios	X		HONDA	0	\$225.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
10	Caja de Cambios	X		HONDA	1	\$335.00	\$0.00	\$335.00	\$0.00	\$335.00
11	Tornillería y Tuercas	X		Universales	1	\$20.00	\$0.00	\$20.00	\$0.00	\$20.00
12	Montaje del Sistema		X	Laboratorios de Ing. Mecánica	1	\$0.00	\$45.00	\$0.00	\$45.00	\$45.00
13								\$0.00	\$0.00	\$0.00
14								\$0.00	\$0.00	\$0.00
15								\$0.00	\$0.00	\$0.00
16								\$0.00	\$0.00	\$0.00
17								\$0.00	\$0.00	\$0.00
18								\$0.00	\$0.00	\$0.00
19								\$0.00	\$0.00	\$0.00
20								\$0.00	\$0.00	\$0.00
21								\$0.00	\$0.00	\$0.00
22								\$0.00	\$0.00	\$0.00
23								\$0.00	\$0.00	\$0.00
24								\$0.00	\$0.00	\$0.00
25								\$0.00	\$0.00	\$0.00

Tiempo Ensamble Subsistema [hrs] 8.5 Costo Ensamble Subsistema

Totales

	\$297.50	\$297.50
<b>Totales</b>	<b>\$773.20</b>	<b>\$45.00</b>
		<b>\$818.20</b>

**Total: \$1,115.70**



### Costo Total Aproximado de los Sistemas del Vehículo FSAE U. N. A. M.

Sistema	Sistema o Artículo	Manufactura o Descripción	Costo de Sub-Ensamblés		Costo de Mano de Obra del Ensamble	Subtotal	
			Material	Mano de Obra		Material	Mano de Obra
1	Motor	HONDA CBR 600	\$6,569.93	\$113.15	\$350.00	\$6,569.93	\$463.15
2	Transmisión	HONDA	\$773.20	\$45.00	\$297.50	\$773.20	\$342.50
3	Tren de Transmisión	Cadena y Juntas	\$175.41	\$151.66	\$210.00	\$175.41	\$361.66
4	Rines y Neumáticos	GOODYEAR	\$963.41	\$754.70	\$210.00	\$963.41	\$964.70
5	Sistema de Dirección	S-Wheel Aéreo	\$467.53	\$27.36	\$280.00	\$467.53	\$307.36
6	Sistema de Suspensión	SLA Independiente	\$997.65	\$129.29	\$560.00	\$997.65	\$689.29
7	Estructura	Tubular de Acero	\$163.00	\$156.60	\$1,260.00	\$163.00	\$1,416.60
8	Carrocería	Fibra de Vidrio	\$400.00	\$277.70	\$1,050.00	\$400.00	\$1,327.70
9	Sistema de Frenado	HONDA	\$1,196.15	\$16.60	\$490.00	\$1,196.15	\$506.60
10	Equipamiento y Seguridad	FIA y SFI	\$1,078.70	\$23.44	\$280.00	\$1,078.70	\$303.44
11	Sistema Eléctrico	ECU	\$1,552.47	\$29.65	\$227.50	\$1,552.47	\$257.15
12	Extras / Adicionales	Gastos Indirectos	\$0.00		\$0.00	\$0.00	\$0.00
13	Misceláneos		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
<b>Total:</b>			<b>\$14,337.45</b>	<b>\$1,725.15</b>	<b>\$5,215.00</b>	<b>\$14,337.45</b>	<b>\$6,940.15</b>

**Costo Total Aproximado del Vehículo FSAE \$21,277.60**

### Gastos Indirectos Adicionales Aproximados

Artículo	Nombre de la Pieza	Descripción	Cantidad	Costo
1	Registro / Inscripción FSAE	Vía Internet/SAE Internacional/Equipo	1	\$500.00
2	Inscripción Membresía SAE	Vía Internet/SAE Internacional/Personal	1	\$25.00
3	Presentación del FSAE	Exposición Oral y Escrita	1	\$1,500.00
4	Costo del Reporte del FSAE	Presentación y Costo del FSAE	1	\$1,000.00
5	Gastos Miembros del Equipo	Transporte Viaje Redondo (Por Persona)	1	\$600.00
6	Gastos Miembros del Equipo	Hospedaje (Noche / 4 Personas)	1	\$85.00
7	Gastos Miembros del Equipo	Alimentación (Por Día)	1	\$20.00
8	Pasaporte	Cada Integrante del Equipo	1	\$150.00
9	Visa	Cada Integrante del Equipo	1	\$150.00
10	Alquiler Trailer FSAE Car (EUA)	Viaje Redonde al Evento (7 días)	1	\$3,000.00
11	Renta Vehículo (EUA)	Costo por día incluido seguro	1	\$150.00
12	<b>Uso Sala Ixtli (Costo por Hora)</b>	<b>Visualización Virtual del Proyecto</b>	1	<b>\$0.00</b>
13				
14				
15				

**Totales 12 \$7,180.00**



El **Análisis de Costos Total del Vehículo FSAE**, obtenido mediante el análisis financiero del costeo total de material, piezas y elementos que lo integran, los procesos de manufactura que se requieren para cada sub-sistema, la mano de obra total generada y los gastos adicionales como refacciones y misceláneos; se encuentra dentro de un rango por debajo de los \$25,000.00 USD como máximo costo permisible, que establece el reglamento aproximadamente para llevar a cabo la manufactura del vehículo.<sup>[3]</sup>

*Nota:* En algunas secciones de los sub-sistemas, se mencionan los elementos o piezas del vehículo que se requieren, como por ejemplo, en el **sub-sistema: transmisión**, se nombran los elementos como **la cadena de transmisión, los discos de embrague y muelles del mismo, etc.** Estos dispositivos ya van involucrados en el **sistema del embrague**, pero no son tomados en cuenta para la evaluación de costos, es decir, se nombran como posibles elementos que se requieren como refacción o recambio, pero no se incluyen como parte de este análisis. Para llevar a cabo el análisis de costos totales, deben anexarse las piezas que sean compradas, fabricadas o utilizadas de re-uso (seminuevas) y para refacción.

El costo total de fabricación obtenido mediante el estudio de costos, permite aproximar el costo real final que podría tener el vehículo, sin considerar los gastos indirectos antes mencionados, es por esta razón, que debe realizarse un análisis de costos totales, mejorar y/o reducir los posibles costos de las piezas (dispositivos y sistemas mucho más económicos pero que cubran el rango de calidad establecido) y mejorar igualmente los tiempos de manufactura.

Así también, pueden obtenerse recursos económicos por medio de patrocinios, con el fin de obtener recursos alternativos, comprar elementos que se requieran como recambio en caso de requerirse y dar a conocer el nombre de la empresa representada en la competencia. La forma de obtención económica de este medio o recurso (patrocinio), es ejemplo del tipo de **gasto indirecto** que involucra la realización de una **Presentación Formal** para llevarla a cabo de manera expuesta dentro de la empresa.

Otro aspecto importante que hay que considerar, es la **presentación del reporte de costos y el propio costo final del vehículo**, es decir, es parte esencial en la evaluación del proyecto dentro de la competencia, ya que un equipo participante que presente el costo de su vehículo, el cual involucre un costo reducido o promedio de piezas y/o sistemas, reducción de costos en los procesos de manufactura y bajo costo en mano de obra; genera un mayor número de puntos en la sección de costos del evento y en la evaluación final de la competencia entre las demás universidades participantes.

Es por ésta razón, que el **Diseño Conceptual** y la propia **Visualización Tridimensional** del presente trabajo, involucró el **estudio y análisis de costos de manufactura aproximado del vehículo**, esperando servir como base en los procesos de manufactura y mano de obra generados, para la realización de diseño y planos de fabricación del prototipo en un programa de diseño especializado (CAD), en la obtención de recursos económicos por diversos medios, en la utilización de herramientas de desarrollo tecnológico y visualización en 3D y, a la creación y fabricación final del Vehículo Estilo Serie Fórmula SAE U. N. A. M.



Para finalizar con este capítulo y concluir con el trabajo de tesis en su totalidad, a continuación se desglosa la propuesta en la **Configuración Final de Diseño del Vehículo FSAE**, la cual, especifica los elementos que constituyen cada sistema y sub-sistemas, así como los datos técnicos (Ficha Técnica) o especificaciones generales como fueron diseñados y conocer de manera completa y generalizada la configuración final que tendrá el vehículo.

### Hoja de Especificaciones Técnicas de Diseño del Vehículo Fórmula SAE U. N. A. M.

Dimensiones	Parte Frontal	Parte Trasera
Largo total / ancho / alto	2600 [mm] (102 [inches]) / 1900 [mm] (75 [inches]) / 1050 [mm] (41.5 [inches])	
Distancia entre ejes	1550 [mm] (61 [inches])	
Centro de la huella de los neumáticos	1530 [mm] (60 [inches])	1700 [mm] (67 [inches])
Peso aproximado del vehículo	300 [kg] (661 [lb])	
Peso aproximado del vehículo con Piloto (70[kg]150[lb])	170 [kg] (370 [lb])	200 [kg] (440 [lb])

Parámetros de la Suspensión	Parte Frontal	Parte Trasera
Tipo de Suspensión SLA (Short-Long Arm) diseñada	Doble brazo en A (inferior) y brazo sencillo (superior), actuado por push rods orientados de forma inclinada con resortes y dampers	Doble brazo en A (inferior) y brazo sencillo (superior), actuado por push rods orientados de forma inclinada con resortes y dampers
Diseño del desplaz. máximo ( altura del chasis al suelo )	25.4 [mm] (1.0 [inches])	25.4 [mm] (1.0 [inches])
Altura del Centro de Gravedad diseñado	300 [mm] (11.8 [inches]) por arriba del suelo	
Diseño del recorrido de la suspensión	1.0 [inch] hacia arriba/ 1.0 [inch] hacia abajo	1.3 [inch] hacia arriba/ 1.3 [inch] hacia abajo
Sistema de empuje	Push rods actuados con balancines (Rockers)	Push rods actuados con balancines (Rockers)
Consideración del giro del camber máximo (Roll Rate)	14.62 [°] de inclinación máxima teórica	
Tipo de amortiguadores	Duros con dampers alimentados por aire	Duros con dampers alimentados por aire
Porcentaje de asentamiento total	-5%	-25%
Posición estática del centro de giro (Static Roll Center)	50.8 [mm] (2.0 [inches]) por arriba del suelo	25.4 [mm] (1.0 [inches]) por arriba del suelo
Posición del centro de giro del vehículo (Roll Center)	300 [mm] (11.8 [inches]) por arriba del suelo	300 [mm] (11.8 [inches]) por arriba del suelo



Parámetros de la Dirección	Parte Frontal	Parte Trasera
Ubicación del sistema de dirección	Sistema de dirección frontal	
Tipo de caja de dirección	Caja de dirección flotante o aérea	
Colocación del sistema de dirección	a 100 [mm] (4 [inches]) por arriba del canal superior del Front Roll Hoop de la estructura	
Brazos de dirección ( Material )	Acero estructural SAE, aluminio o material aleado ( ½ [inches] de diámetro )	
Sistema de dirección	Piñón y Cremallera	
Tamaño de los neumáticos y tipo de mezcla	19.5x6.5-15 R25A Hoosier	19.5x8.0-15 R25A Hoosier
Rines / material	15.0x6.5 [inches], Aluminio estrella 5 picos	15.0x8.0 [inches], Aluminio estrella 5 picos
Método de ajuste y unión de los brazos	Rótulas esféricas	
Posición de los brazos [°]	Horizontal (transversal al eje de giro) a 180 [°]	
Posición / configuración de ajuste	3 configuraciones de ajuste en dirección positiva de giro por arriba de las mazas de dirección	
Mazas de dirección ( Ubicación / Material )	Fijas por arriba de las mazas de suspensión / placa de acero (solera), aluminio o aleación	
Ángulo de Giro de Ackerman	$\theta_f = 30 [^\circ]$ y $\theta_e = 20.02 [^\circ]$	

Sistema de Frenos / Ejes	Parte Frontal	Parte Trasera
Calipers ( Tipo / Ángulo / Tamaño / Ubicación / Material )	Flotantes de doble pistón / a 45 [°] sobre la horizontal / 2.3 [inches] de $\emptyset$ / montados a las mazas de suspensión / acero fundido	Flotantes de doble pistón / a 45 [°] sobre la horizontal / 2.3 [inches] de $\emptyset$ / montados a las mazas de suspensión / acero fundido
Bomba de Freno / Cilindro Maestro	Dos depósitos independientes operados por un control simple ajustable mecánicamente	
Líneas de Freno / material	Aluminio $\emptyset_{ext} \frac{1}{4}$ [inches] / $\emptyset_{int} \frac{1}{8}$ [inches]	Aluminio $\emptyset_{ext} \frac{1}{4}$ [inches] / $\emptyset_{int} \frac{1}{8}$ [inches]
Tipo de elemento de sujeción (eje) / tamaño / material	Eje fijo con tuerca de seguridad / 1.0 [inch] de diámetro / Aluminio	Eje fijo unido por cuñas a junta universal / 1.0 [inch] de diámetro / Aluminio

Ergonomía y Equipamiento	General
Ajuste / regulación de sistemas al tamaño de conductor	Asiento fijo / volante de dirección removible / pedales ajustables adelante y atrás con un recorrido de 3 [inches] / Cinturón de Seguridad de 5 puntos ajustable
Asiento ( Material / Apoyo )	Deportivo tipo Fórmula: Poliuretano de alta densidad / apoyo lumbar y protección de hombros
Ángulo de visibilidad de conducción ( Espejos )	210 grados / Espejos montados rígidamente en ambos lados de la carrocería ( nariz )
Actuador de Cambios ( Tipo / Ubicación )	Actuado manualmente ( *al volante ) / montado al lado derecho de la cabina
Actuador de Embrague ( Tipo / Ubicación )	Operado por pedales y actuado por chicote / montado al lado izquierdo de la cabina
Sensores e interruptores	Medidor de temperatura, combustible, aceite, luces de cambios, encendido y Kill-Switch
Instrumentación	Panel de instrumentos: Velocímetro, tacómetro, odómetro



<b>Estructura</b>	
Construcción de la estructura	Armazón de sección tubular redonda en Roll Hoops, cuerpo de trabajo y zona de impacto
Material	Acero estructural SAE 1018 ( $\varnothing_{ext}$ 25.4 [mm] / $\varnothing_{int}$ 20.6 [mm], 22.1 [mm] y 22.9 [mm] )
Método de unión y material	Soldadura por fusión de arco eléctrico y MIG / electrodo ER70-S6 con recubrimiento epóxico
Método de validación de Tensión de von Mises	46977.08 [N/mm <sup>2</sup> ] FEA Análisis (ALGOR)
Carga máxima aplicada en zona de impacto frontal	150 [kN] dividida en 2 fuerzas distribuidas de 75 [kN]
Desplazamiento máximo generado	13.40514 [mm] en dirección de la zona de impacto frontal
Carga máxima aplicada en zona de impacto lateral	10 [kN] dividida en 8 fuerzas distribuidas de 1250 [N]
Desplazamiento máximo generado	11.21756 [mm] en dirección de la zona de impacto lateral
Peso de la estructura únicamente con soportes y pintura	132 [kg] (60 [lb])
Material de protección de la zona de impacto	PVC, unicel, esponja o caucho cubierta con fibra plástica
Longitud de la zona de impacto frontal diseñada	400 [mm] (16.0 [inches])
Longitud de la zona de impacto lateral diseñada	600 [mm] (24.0 [inches])

<b>Tren de Potencia</b>	
Manufactura y Modelo	Motor comercial de manufactura japonesa Honda CBR 600 RR Modelo 2010
Diámetro / Carrera / Número de cilindros / Válvulas	67 [mm] / 42.5 [mm] / 4 cilindros en línea / DOHC 16 V
Desplazamiento	599 [cc]
Tipo de combustible	Gasolina 94 Octanos
Admisión	Toma de aire natural aérea con una sola boquilla dirigida hacia las 4 cámaras ( restricción 20.0 [mm] )
Máxima potencia de trabajo diseñada	114.2 [CV]
Máxima potencia diseñada [RPM]	13000
Máximo torque diseñado [RPM]	10000
Mínimas RPM para un 80% de máximo torque	7500
Longitud de los corredores de la toma de admisión	305 [mm] (12 [inches])
Longitud de los corredores de la salida de escape	1000 [mm] (40 [inches])
Alimentación	Sistema secuencial de inyección electrónica PGM - DSFI
Encendido	Encendido electrónico digital CDI
Sistema de Inyección	Fuel Injection
Volumen total de admisión	668 [cc]
Relación de compresión	12.0:1
Ubicación del sistema de enfriamiento y radiador(es)	Parte trasera y superior de la estructura con radiador montado con un ventilador eléctrico controlado por un termostato
Ubicación y tipo de tanque de combustible	Al piso montado entre el firewall y el motor / tanque de aluminio con toma tipo vejiga de 8 [li] de capacidad volumétrica
Tubo de escape y silenciador	Escape deportivo y silenciador envuelto en paquete de vidrio simple, 2.5 litros de volumen



<b>Tren Motriz</b>	
Manufactura y Modelo de la caja de cambios	Honda CB y CBR Modelos S / F Sport / RR
Embrague	Multidisco en baño de aceite (Honda)
Tipo de transmisión	Por Cadena Sellada con Juntas Tóricas
Caja de cambios	Secuencial de 6 relaciones
Velocidad del vehículo @ máx. potencia diseñada [RPM]	264.5 [km/h] (Real) / 275.0 [km/h] (Teórica)
1st	30 [km/h] ( 18 [mph] )
2nd	56 [km/h] ( 35 [mph] )
3rd	87 [km/h] ( 54 [mph] )
4th	115 [km/h] ( 72 [mph] )
5th	147 [km/h] ( 91 [mph] )
6th	180 [km/h] ( 112 [mph] )
Diferencial o Puente Motriz	Tipo Torsen
Sistema de tracción	Juntas homocinéticas y juntas universales
Tipo de unión	Semiejes de transmisión

<b>Aerodinámica (si aplica)</b>	
Carrocería / Material	Cerrada o toma de aire frontal con acceso al interior de los sistemas frontales / fibra de vidrio
Alerón frontal (elevación/coef. de arrastre/material/peso)	No disponible (estos valores son medidos en un túnel de viento y/o en un programa CFD)
Alerón trasero (elevación/coef. de arrastre/material/peso)	No disponible (estos valores son medidos en un túnel de viento y/o en un programa CFD)
Undertray ( Fuerza de absorción / velocidad )	No Aplica
Montaje de alerones	Frontal (Parte baja de la carrocería a 450 [mm] (18 [inches]) por delante de la parte frontal de los neumáticos) / Trasero (Parte alta del panel final superior a 513 [mm] (20 [inches]) por arriba de los neumáticos)



---

## Referencias Bibliográficas.

- [1] Newton, Donald G., Eschenbach, Ted G. y Lavelle, Jerome P., *Engineering Economic Analysis*, Oxford University Press, Inc., 2004. ISBN 0-19-516807-0
- [2] Ortega Torres, Bernardo, Tesis: *Manual del Proyecto Mini Baja U. N. A. M.*, México, Facultad de Ingeniería, U. N. A. M., 2003.
- [3] SAE International, SAE Student Central, *FSAE 2011-2012 Rules*, 2012.  
<http://www.sae.org>  
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>  
<http://www.formulastudent.com/>
- [4] Tawfik, Louis y Chauvel, Alain M., *Administración de la Producción*, McGraw-Hill. 1992. ISBN 0-03-925907-2

- Sitios de Interés:

- [a] Piezas Comerciales para Motocicleta. 2010/2012.  
<http://www.motopieza.com>

## Referencias de Imágenes.

- [1] Fig. 5.2.a.

Newton, Donald G., Eschenbach, Ted G. y Lavelle, Jerome P., *Engineering Economic Analysis*, Oxford University Press, Inc., 2004. ISBN 0-19-516807-0

- [2] Fig. 5.2.b.

Tawfik, Louis y Chauvel, Alain M., *Administración de la Producción*, McGraw-Hill. 1992. ISBN 0-03-925907-2



---

## CONCLUSIONES DEL PROYECTO FÓRMULA SAE.

### 1. EL PROYECTO FÓRMULA SAE.

El objetivo principal del proyecto Fórmula SAE, así como de los proyectos involucrados de pequeña, mediana o mayor envergadura dentro de la U. N. A. M., a través de la Facultad de Ingeniería e Institutos; es involucrar a los estudiantes de las carreras de ingeniería y otras áreas científicas, a incursionar en el área automotriz.

Este proyecto de Vehículo de Carreras Estilo Fórmula, así como los proyectos involucrados por la SAE en la U. N. A. M. como son: Mini-Baja, Electratón, Aero Design, Walking Machine y Super Mileage; debe mantener y formar en los integrantes del equipo, liderazgo, razonamiento metódico y analítico, comunicación, participación, trabajo en equipo, imaginación, creatividad, organización y sobre todo toma de decisión dentro del proyecto; todo esto en conjunto, permite coadyuvar en la realización efectiva, continua y tecnológica del proyecto y en la formación personal, académica (teórica y práctica) y profesional del ingeniero.

Como puede apreciarse en este trabajo de tesis, el proyecto FSAE es tan completo que considera prácticamente todos los aspectos de diseño, construcción, evaluación, producción, financiamiento y desarrollo tecnológico para llevar a cabo la manufactura del vehículo y la dirección de dicho proyecto. Es por ello, que se establecen los principios básicos y fundamentales considerados para el diseño de la estructura y se pretende explicar cada etapa del proceso, a través de las diversas herramientas y conocimientos involucrados.

Es por esta razón, que en el presente trabajo, además de la realización del diseño conceptual y de la visualización del vehículo FSAE dentro de la Sala Ixtli, se propuso una organización de los sistemas, explicando las características más importantes y relevantes que intervienen en cada uno de los componentes y sistemas, tratando de servir como una referencia completa y partiendo como una guía o manual a futuro, donde puedan abordarse algunos términos y se ataque de mejor forma la interpretación de resultados, facilitando así, la organización y comunicación de un equipo de trabajo de manera sencilla y clara, delegando tareas y responsabilidades para cada participante y para los nuevos miembros que se vayan integrando.

En la parte de aplicación de cálculos y análisis, se hace referencia al uso de todas las herramientas matemáticas, físicas, conocimientos teóricos y paqueterías computacionales empleadas en el Campo de la Ingeniería. Como resultado, fue el caso particular en la etapa de diseño, al investigar y seleccionar el tipo de estructura más apropiado para el vehículo y, definir la mejor geometría en la sección del perfil estructural y los materiales involucrados para la selección de la tubería; donde se obtuvieron diversas propuestas de materiales y calibres confiables, cumpliendo los requerimientos estructurales de la misma.



El uso e implementación del Método de Elementos Finitos en Ingeniería, es una de las herramientas más poderosas y prácticas con las que cuenta el ingeniero en la resolución de problemas, sin embargo, hay que tener un amplio criterio decisivo de lo que se hace y se obtiene y, de conocimientos sólidos teóricos de los fenómenos involucrados que se están llevando a cabo para su análisis y para obtener una correcta interpretación de los resultados. Este tipo de herramientas son muy necesarias en la actualidad por los ingenieros, ya que permiten la realización de trabajos más detallados, específicos y precisos de una manera más rápida y especializada.

En términos de diseño, el desarrollo de la estructura requirió de la utilización de herramientas de CAD y FEA utilizadas y aplicadas en la industria automotriz, por lo que, los análisis realizados fueron generados con herramientas de alto nivel, competitivo y con un elevado desempeño tecnológico computacional. Los resultados obtenidos, así como su interpretación analítica y matemática, fueron satisfactorios y correctos, cumpliendo con los parámetros, requerimientos y restricciones establecidos desde un principio.

Con la utilización y aplicación del Método de Elementos Finitos como herramientas de ingeniería, se obtuvieron resultados benéficos y satisfactorios en el Diseño de la Estructura, ya que cumplió con los parámetros y las especificaciones establecidas. Por lo tanto, el diseño es lo suficientemente seguro y es capaz de soportar cargas estáticas dentro del rango de seguridad permisible.

En cuanto al análisis financiero, se logró realizar el reporte de costos considerando todos los procesos involucrados en la construcción del mismo. El reporte de costos es un requisito indispensable en el momento de tomar las decisiones de los procesos de diseño y fabricación, ya que se requieren de las técnicas más versátiles, económicas y óptimas y, además, es requisito presentarlo en la participación del evento dentro de la competencia. En el presente trabajo, se involucró el estudio y análisis de costos de manufactura aproximado del vehículo, esperando servir como base en los procesos de manufactura y mano de obra generados, para la realización de diseño, en la obtención de recursos económicos por diversos medios y, a la creación y fabricación final del Vehículo Estilo Serie Fórmula SAE U. N. A. M.

La visualización tridimensional del Prototipo FSAE dentro del Observatorio Ixtli, tiene la finalidad de mostrar la utilización de herramientas de despliegue estereoscópico, a través de la infraestructura y recursos humanos especializados, empleando la tecnología de procesamiento visual de la información y de ambientes virtuales o artificiales. La finalidad de hacer uso de la Sala y llevar a cabo la Presentación y Exposición Virtual del Prototipo FSAE dentro de este recinto, es el de observar, interactuar y analizar, el estudio de diversos objetos en 3D con detalle, es decir, las geometrías de los sistemas y componentes que lo integran y generar en el(os) espectador(es), la sensación de inmersión en dichos entornos y que se sienta(n) parte de ese mundo, a través de la aplicación de las herramientas y técnicas tridimensionales; mostrando y creando la ilusión de tridimensionalidad estereoscópica del prototipo y el realismo del mismo, mediante sistemas de generación de imágenes estereoscópicas (Polarización y Obturación), lentes electrónicos LCD, equipo y software especializado, entre otros.



---

Por lo tanto, pretende lograrse un acercamiento del entorno de procesamiento visual y gráfico con el usuario, permitiendo apreciar la visualización en un amplio rango de visibilidad y adentrarse en la exploración y manipulación de los sistemas, elementos y componentes del Vehículo FSAE U. N. A. M.; y sensibilizar la percepción de profundidad y del campo de visión donde se ubique, pudiendo apreciar los objetos con detalle.

## **2. APORTE DEL PROYECTO FSAE A LA FORMACIÓN DEL INGENIERO.**

La importancia de un proyecto universitario, principalmente un proyecto de ingeniería (como lo es la magnitud del proyecto FSAE), radica no sólo en la obtención de nuevos conocimientos, habilidades e información obtenida en las aulas, sino también, en la aplicación del aprendizaje y al desarrollo tecnológico que involucran dichos proyectos con el estudiante, así como a la aportación que éste da a la formación del ingeniero.

El proyecto FSAE, bajo esta perspectiva, cumple un principio básico que es el apoyo de la formación del estudiante de ingeniería, no sólo en el área mecánica, sino a otras áreas de la ingeniería e inclusive con otras carreras e interacción con otros profesionistas debido a la magnitud del proyecto.

En el área de la Ingeniería, el proyecto FSAE aporta a la formación universitaria tres aspectos principales que son: el técnico, el práctico y el profesional. Cada uno de estos aportes que involucra la formación del estudiante, permite desarrollar el aspecto intuitivo (lo que conviene o no y/o lo que convence o no a una empresa) y adquirir la experiencia necesaria en la toma de decisiones dentro de la industria y el campo profesional.

## **3. APORTE TÉCNICO.**

Es el primer aporte del proyecto a la formación del Ingeniero. Desde los primeros semestres de la carrera de Ingeniería, en Ciencias Básicas, se adquiere una gran cantidad de conocimientos, principalmente de matemáticas y física, los cuales resultan muy teóricos. El proyecto ayuda a completar esta formación, al dar la oportunidad de poner en práctica todos los conocimientos de estática, cinemática, dinámica, cálculo, física, entre otras materias y utilizar el aspecto teórico como herramienta para resolver problemas que van desde lo más sencillo, como el encontrar pendientes para localizar puntos específicos que se requieren para dicho estudio e interpretar los resultados física y matemáticamente y, hasta otros mucho más complicados, como el análisis de elementos finitos de la estructura o el análisis dinámico de la suspensión.



---

Conforme se va avanzando en los semestres, la aplicación de los conocimientos teóricos se vuelve mucho más complicada, sin embargo, se cuentan con herramientas más poderosas, a través del uso de computadoras y máquinas de control numérico, así como el manejo de software especializado.

En el proyecto FSAE, se tiene la oportunidad de aprender a utilizar todas estas herramientas tecnológicas y programas especializados, sin embargo, hay que dejar en claro que los programas, no diseñan ni resuelven todo por sí solas, son simplemente herramientas de trabajo que ayudan a reducir el tiempo y hay que tener una base sólida de la teoría al tomar decisiones y criterios al utilizar los programas de análisis, así como al introducir la información correcta para obtener los resultados correctos y al final interpretar los resultados que arrojan de manera concisa en base a la experiencia obtenida. El obtener este aprendizaje y al mismo tiempo esta experiencia, es muy importante para el desarrollo de la vida profesional, porque permite manejar y controlar las herramientas tecnológicas (cada vez más usadas en la industria) para lograr y desarrollar más rápidos y óptimos resultados.

Muchas veces, al aplicar la teoría a problemas prácticos, uno se encuentra que es mucho más difícil de resolverlos debido a la cantidad de variables o falta de información, razón por la cual hay que considerar ciertos criterios y consideraciones para poderlos resolver de una manera práctica y confiable. La decisión de aplicar estos criterios se va adquiriendo poco a poco en el proyecto, con la experiencia apoyada en la teoría, por lo que el estudiante va adquiriendo una mayor confianza al tomar decisiones, que afectarán directamente al resultado. La adquisición de esta experiencia y confianza al resolver problemas en el proyecto FSAE, le servirá, no sólo para obtener buenos y mejores resultados en el mismo, sino también para el resto del desarrollo de la vida profesional.

#### **4. APORTE PRÁCTICO.**

En el proyecto FSAE, se tiene la necesidad de diseñar y construir un prototipo de competencia, que cumpla con los objetivos establecidos en el reglamento. Esto requiere, de conocer y poseer los conocimientos, habilidades y destrezas de los diferentes procesos de conformado y corte de materiales, así como del propio manejo de los mismos, para la realización de las piezas y partes necesarias dentro el vehículo. Estos conocimientos son adquiridos a lo largo de la trayectoria académica, dentro de las aulas y laboratorios, pero con ayuda de una práctica continua de trabajar los materiales para conformarlos, cortarlos, maquinarlos, fundirlos, etc., se logran obtener las piezas con una mejor calidad.

El desarrollo de este proyecto y de cualquier proyecto tecnológico, coadyuva al estudiante a desenvolverse mejor en la vida profesional, al tener conocimiento de los problemas que se podrían presentar con cada proceso, resolviendo eficientemente las decisiones y los resultados de la industria.



---

Sin embargo, la finalidad del proyecto FSAE y de los integrantes del equipo como Ingenieros en sí, no es el de ser un experto en el manejo de las máquinas, sino el de conocer las ventajas y desventajas de cada proceso para poder decidir cuál es el mejor o más óptimo, el más factible o deseable y el que más conviene para cada pieza, considerando el costo, el tiempo de fabricación, la resistencia del material, los acabados, la energía empleada, etc., entre otros factores.

Un problema bastante frecuente que se presenta en el diseño y la construcción del prototipo, es que al tener que construir una pieza, el diseño resulta muy complejo, inadecuado al espacio, o simplemente no puede llevarse a cabo por lo costoso que podría ser. Una manera de resolver estos problemas, es que durante el proceso de diseño, se vaya desarrollando cada sistema, teniendo en cuenta los diferentes procesos, de tal forma que desde un principio se tenga una idea completa de como puede construirse la pieza.

Esto sólo se puede realizar cuando se tiene una previa experiencia y conocimiento de los diferentes procesos, por lo que el proyecto provee al estudiante esa experiencia básica que adquiere en ambos proyectos Mini Baja – FSAE, los cuales, sin embargo, comparten similitudes en los sistemas, pero, enfocados a diversas pruebas y disciplinas deportivas y, principalmente semejantes a la aplicación en los procesos de fabricación.

## **5. APORTE PROFESIONAL.**

Éste, es quizás el mayor aporte que realiza el proyecto FSAE a la formación del estudiante. Desafortunadamente, no existen suficientes proyectos ni programas que integren al ámbito profesional con la Facultad a un nivel estudiantil desde los primeros semestres.

En este sentido, el proyecto FSAE podría generar incentiva y apoyar a los estudiantes a relacionarse con el medio profesional, en diferentes aspectos dentro de la industria automotriz.

Un aspecto muy importante al participar en el proyecto, es el de aprender a organizarse para trabajar en equipo en pro de una causa común. El proyecto FSAE, está conformado por un gran número de estudiantes, los cuales tendrán diferentes responsabilidades, y los cuáles deberán de integrarse de la mejor manera para evitar problemas o retrasos. Sin embargo, generalmente puede haber diferencias y debe aprenderse a analizar, negociar, decidir y escoger la opción que mejor convenga, por lo que una buena comunicación es necesaria.

Esta experiencia de trabajo en equipo, de conciencia de responsabilidades, liderazgo, respeto y de ayuda mutua entre los integrantes, es parte de la formación que ayudará a la realización del proyecto FSAE en un futuro. Cuando el estudiante llegue a la vida profesional, podrá aplicar todas estas experiencias y sacar mucho más provecho en la vida laboral y profesional.



Un factor clave del proyecto FSAE, es el de poder obtener recursos suficientes para poder financiar el proyecto. Una manera de lograrlo es por medio de apoyos y patrocinios, por lo que el estudiante aprende a realizar carpetas de presentación del proyecto, anteproyectos, estimaciones de costos, buscar y concertar citas con las diferentes empresas (no necesariamente con el ramo automotriz) para poder presentar el proyecto, etc. Este es un aprendizaje autodidacta que no se enseña en las aulas y puede ser complicado aplicarlo. Sin embargo, se va aprendiendo con la práctica y, conforme se va adquiriendo más experiencia, se pueden obtener mejores resultados. El ir el estudiante a las empresas en busca de un apoyo, sirve a la misma para saber qué es lo que les interesa, dar a conocer su nombre y como podrían representar su marca en una competencia mediante ese patrocinio, además, ayuda a tener un panorama mucho más amplio de las diferencias y enfoques de cada empresa, para posteriormente ofrecer lo que más le convenga a cada una; es por esta razón, que es necesario realizar reportes y carpetas de presentación del proyecto con la información adecuada que incluye los objetivos y metas del mismo. Esta experiencia le será muy útil en la vida profesional, debido a que sabrá de antemano como deberá desenvolverse como Ingeniero en la industria.

Los estudiantes de ingeniería, al competir en un evento internacional con universidades de muy alto nivel, incluida la U. N. A. M., pueden compartir conocimientos y experiencias, así como de una conciencia en cuanto a las diferencias y la competitividad con respecto a otros países, que lo ayudarán a un mejor desempeño en la vida profesional.

La participación en estos eventos implica un arduo trabajo, que incluye el realizar reportes en inglés, con un nivel competitivo, aprender a leer las reglas y especificaciones para no caer en penalizaciones o descalificaciones, trabajar organizadamente para tener listo el vehículo y realizar pruebas, tener un buen plan de trabajo, según el presupuesto para aprovechar al máximo todos los recursos obtenidos, realizar las presentaciones de ventas con una gran calidad y creatividad para poder ser competitivos, así como aprender a controlar los nervios, son sólo algunos de los aspectos de los que el proyecto proporciona a la formación del estudiante.

En suma, el proyecto FSAE da la oportunidad de obtener un gran número de experiencias, que sin duda alguna, ayudarán a la formación del Ingeniero, que muy difícilmente podría adquirir únicamente en las aulas. Estas experiencias no son más que una parte que complementa en gran medida la formación integral del Ingeniero, para que pueda tener un mejor desempeño como persona y como Ingeniero en la sociedad.

## **6. APLICACIONES DE LA REALIDAD VIRTUAL EN INGENIERÍA.**

Las herramientas tecnológicas utilizadas dentro del Observatorio de Visualización “Ixtli”, permiten a los estudiantes y profesores de diversas instancias, el desarrollo, simulación, creación y uso de aplicaciones de realidad virtual inmersiva en diversas áreas de docencia e investigación dentro de la U. N. A. M.



---

Las herramientas y tecnología utilizadas en el Laboratorio de Visualización Científica “Ixtli”, permite el desarrollo, asesoría, capacitación e investigación en los procesos involucrados en las diversas etapas para el desarrollo de aplicaciones tridimensionales interactivas inmersivas que incluyen entre otros: optimización y animación de modelos 3D para interacción en tiempo real; programación de estereoscopia, manejo de despliegue en múltiples pantallas, programación de dispositivos y su interacción con la aplicación, integración de sonido espacial, física de cuerpos rígidos, inclusión de personajes virtuales, inteligencia artificial, comunicación en red, programación de tarjetas gráficas y la aplicación de técnicas de optimización en las diversas etapas para lograr un desempeño interactivo, así como la generación de modelos y aplicaciones con posibilidad de rehúso en otras áreas profesionales o diversas temáticas adaptadas al estudio en 3D.

Las ventajas de poder utilizar ambientes virtuales inmersivos es el poder acceder a espacios inaccesibles o con riesgo, y poder modificar los eventos que ahí ocurren. Por ejemplo poder recorrer libremente ambientes arquitectónicos ya desaparecidos. Diseñar edificios, casas, automóviles u otros objetos, teniendo una proyección en escala real y realizar modificaciones antes de pasar a la construcción real. Recrear ambientes para entrenamiento que serían muy costosos o no podrían ser posibles de fabricar por sus dimensiones u otra razón, por ejemplo, para el adiestramiento en casos de siniestros. Entre algunas de estas aplicaciones representativas se encuentra la simulación quirúrgica y el entrenamiento médico; la muestra de recorridos en museos y galerías; visualización científica de fenómenos complejos; representación y muestra gráfica de pinturas y esculturas; simulación, visualización y análisis de proyectos en CAD, entretenimiento (videos juegos, cine, etc.) y entrenamiento militar.



# APÉNDICE A.

## A.1. ACUERDO DE REESTRUCTURA DENTRO DE LA SALA IXTLI.

**ACUERDO QUE REESTRUCTURA LA ORGANIZACIÓN Y OBJETIVOS DEL OBSERVATORIO DE VISUALIZACIÓN DE LA UNAM (IXTLI)**

Dr. José Narro Robles, Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, con fundamento en los artículos 1º y 9º de la Ley Orgánica, así como en el 34, fracciones IX y X, del Estatuto General, y

**CONSIDERANDO**

Que la Universidad Nacional Autónoma de México tiene entre sus fines impartir educación superior y realizar investigaciones, principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible los beneficios de la cultura.

Que la reforma de la Institución es un proceso permanente, en el que todos los universitarios se encuentran comprometidos a tomar las medidas necesarias para mantenerla a la vanguardia de la educación, la investigación y difusión de la cultura.

Que el 1º de marzo de 2004, se publicó en Gaceta UNAM el Acuerdo por el que se crea el Observatorio de Visualización de la UNAM (IXTLI).

Que la Universidad debe fortalecer y simplificar los procesos y estructuras que permitan utilizar al máximo las herramientas de alta tecnología para el mejor desarrollo de la investigación y del quehacer universitario.

En razón de lo anterior y con el objeto de brindar un apoyo eficaz y oportuno a las actividades sustantivas de la Universidad, he tenido a bien expedir el siguiente:

**Acuerdo**

**PRIMERO.** El Observatorio de Visualización de la UNAM (IXTLI) dependerá de la Secretaría General, a través de la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico.

**SEGUNDO.** El Observatorio de Visualización tiene como finalidad brindar un servicio de simulación con modelos interactivos que pueden ser creados y operados por profesores, investigadores y estudiantes, en tiempo real, gracias a su capacidad de procesar grandes cantidades de datos para su procesamiento numérico y gráfico.

**TERCERO.** Los objetivos del Observatorio de Visualización de la UNAM (IXTLI) son los siguientes:

1. Apoyar la docencia y la investigación con técnicas avanzadas de visualización y simulación de fenómenos complejos.
2. Brindar un servicio de alta tecnología en Realidad Virtual Inmersiva a la comunidad universitaria que beneficie a las áreas científicas y tecnológicas, así como a las de humanidades y a las de difusión cultural en sus necesidades de visualización.
3. Impulsar el trabajo multidisciplinario en actividades de enseñanza e investigación, proviendo una herramienta de desarrollo que asista a los alumnos, profesores, investigadores, posgraduados y tesisistas.
4. Apoyar y fomentar la colaboración entre investigadores del área, con el fin de resolver problemas con alto grado de complejidad, que requieran la participación de investigadores de diversas disciplinas.
5. Fomentar la formación de recursos humanos sobre el área.
6. Difundir en la sociedad las investigaciones que se desarrollan en la Universidad.
7. Desarrollar programas de cómputo científico que apoyen la visualización de los resultados del trabajo académico, de extensión tecnológica y científica, y de difusión de la cultura que realiza la Universidad.
8. Fomentar en las entidades académicas el desarrollo de programas de simulación con modelos interactivos.
9. Ampliar las oportunidades de llevar a cabo proyectos de vinculación.

**CUARTO.** La Secretaría General en colaboración con las coordinaciones de la Investigación Científica, de Humanidades y de Difusión Cultural, promoverá el desarrollo de programas que impulsen el uso del Observatorio de Visualización de la UNAM (IXTLI).

**QUINTO.** La convocatoria de proyectos será emitida por la Secretaría General a través de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico.

**SEXTO.** La selección de proyectos propuestos a través de la convocatoria, la realizará un Comité Académico Integrado por siete representantes de:

1. La Secretaría General, que presidirá el Comité;
2. La Dirección General de Servicios de Cómputo Académico;
3. El Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías;
4. El Consejo Académico del Área de las Ciencias Biológicas y de la Salud;
5. El Consejo Académico del Área de las Ciencias Sociales;
6. El Consejo Académico del Área de las Humanidades y de las Artes; y
7. El Consejo Académico del Bachillerato.

Un representante de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico será el secretario del comité y no tendrá voto.

Todos los integrantes deberán ser especialistas del área que representen y de reconocido prestigio. Durarán en su encargo dos años.

**SEPTIMO.** Corresponderá al Comité Académico las siguientes funciones:

1. Establecer los criterios académicos para la selección de los proyectos propuestos a través de la convocatoria, y
2. Dictaminar la pertinencia y la calidad de los proyectos propuestos, que soliditan los servicios del Observatorio de Visualización de la UNAM (IXTLI).

**OCTAVO.** La Dirección General de Servicios de Cómputo Académico contemplará en sus proyectos presupuestales los recursos necesarios para el funcionamiento del Observatorio de Visualización de la UNAM (IXTLI), y vigilará su correcta administración, así como la de los recursos extraordinarios que genere el Observatorio.

**TRANSITORIOS**

**PRIMERO.** El presente Acuerdo entrará en vigor el día de su fecha y se publicará para conocimiento de la comunidad en Gaceta UNAM.

**SEGUNDO.** El presente Acuerdo deja sin efectos a su similar expedido el 1º de marzo de 2004, por el que se crea el Observatorio de Visualización de la UNAM (IXTLI).

**TERCERO.** En un plazo no mayor a sesenta días contados a partir de la entrada en vigor del presente Acuerdo, deberá quedar instalado el Comité Académico que con el particular se modifica.

**CUARTO.** El Comité Académico contará con un plazo de 90 días hábiles para realizar las modificaciones necesarias a sus reglas de funcionamiento.

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
 Ciudad Universitaria, DF, 11 de agosto de 2008  
 EL RECTOR  
 DR. JOSÉ NARRO ROBLES



## A.2. SOLICITUDES PARA USO Y SERVICIOS DENTRO DE LA SALA IXTLI.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
SECRETARÍA GENERAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS  
DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN  
OBSERVATORIO IXTLI



### SOLICITUD PARA DEMOSTRACIÓN DE LA SALA IXTLI

Fecha de solicitud: \_\_\_\_\_

**Responsable del grupo (deberá presentar identificación oficial el día de la visita)**

Nombre: \_\_\_\_\_

Entidad académica o dependencia: \_\_\_\_\_

Departamento: \_\_\_\_\_

Correo electrónico: \_\_\_\_\_ Teléfonos: \_\_\_\_\_

Audirán funcionarios o directivos:      Sí       No

Enliste sus nombramientos:

#### Información general

Número de asistentes (máximo 40 personas): \_\_\_\_\_

Fecha programada:      Opción 1: \_\_\_\_\_      Horario: \_\_\_\_\_

   Opción 2: \_\_\_\_\_      Horario: \_\_\_\_\_

Explique el motivo de su visita:

La presente solicitud implica la observancia del Reglamento del Observatorio Ixtli.

\_\_\_\_\_  
Firma del solicitante

Fig. A.2.a. Solicitud para Demostración de la Sala Ixtli U. N. A. M.



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
SECRETARÍA GENERAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS  
DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN  
OBSERVATORIO IXTLI 

**SOLICITUD PARA IMPARTIR CLASES**

Fecha de solicitud: \_\_\_\_\_

**Responsable del grupo (deberá presentar identificación oficial el día de la visita)**

Nombre: \_\_\_\_\_  
Entidad académica o dependencia: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_, Telefonos: \_\_\_\_\_

**Información general**

Nombre de la asignatura: \_\_\_\_\_  
Semestre en que se imparte: \_\_\_\_\_  
Número de asistentes (máximo 40 personas): \_\_\_\_\_  
Fecha programada:  
Opción 1: \_\_\_\_\_ Horario: \_\_\_\_\_  
Opción 2: \_\_\_\_\_ Horario: \_\_\_\_\_  
Temas que se abordarán: \_\_\_\_\_  
Contenidos a utilizar: \_\_\_\_\_

Realizará usted la interacción con los modelos durante la clase:    Sí     No

En caso de utilizar material propio deberá verificar previamente que éste se despliegue adecuadamente, en caso de ser necesario deberá reservar una sesión de trabajo previa.  
Los alumnos tendrán que presentar identificación vigente para ingresar a la sala.  
Para el caso de entidades no académicas, externas a la UNAM, el uso de la sala en esta modalidad, tendrá un costo que se asignará por hora de operación, de acuerdo a las tarifas vigentes.

La presente solicitud implica la observancia del Reglamento del Observatorio Ixtli.

\_\_\_\_\_  
Firma del solicitante

Fig. A.2.b. Solicitud para Impartir Clases dentro de la Sala Ixtli U. N. A. M.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
SECRETARÍA GENERAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS  
DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN  
OBSERVATORIO IXTLI

### SOLICITUD PARA SESIÓN DE TRABAJO

Fecha de solicitud: \_\_\_\_\_

**Responsable (deberá presentar identificación oficial el día de la visita):**

Nombre: \_\_\_\_\_  
Entidad académica o dependencia: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_ Teléfonos: \_\_\_\_\_

**Información general**

Sesión para proyecto vigente:  Sesión de preparación de material para clase:

Nombre del proyecto/clase: \_\_\_\_\_

Plataforma requerida: SGI  Clúster  PC

Despliegue gráfico: Cabina  Sala  Sala de preparación

Programas a utilizar: \_\_\_\_\_

Número de asistentes (máximo 40 personas): \_\_\_\_\_

Fecha programada:

Opción 1: \_\_\_\_\_ Horario: \_\_\_\_\_  
Opción 2: \_\_\_\_\_ Horario: \_\_\_\_\_

Si se requiere el apoyo de personal de Visualización o Realidad Virtual, el responsable deberá concertar su colaboración previamente con su jefe inmediato.

Biol. José Luis Villalón | Coordinador de Visualización Científica | joseleunam.mx | 5622-8163

Las sesiones de trabajo destinadas a la promoción de proyectos que representen algún beneficio económico para la entidad o institución responsable, tendrán un costo, el cual se asignará por hora de operación, de acuerdo con las tarifas vigentes.

La presente solicitud implica la observancia del Reglamento del Observatorio Ixtli.

\_\_\_\_\_  
Firma del solicitante

Fig. A.2.c. Solicitud para Sesión de Trabajo dentro de la Sala Ixtli U. N. A. M.



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
SECRETARÍA GENERAL  
DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO Y DE TECNOLOGÍAS  
DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN  
OBSERVATORIO IXTLI 

**SOLICITUD PARA REALIZAR EXÁMENES PROFESIONALES**

Fecha de solicitud: \_\_\_\_\_

**Solicitante y responsable del grupo**  
*(Habrá presentar credencial vigente que lo acredite como alumno de la UNAM, o como carta aval del director de la tesis y entregar un ejemplar de su tesis en formato electrónico)*

Nombre: \_\_\_\_\_  
Entidad académica o dependencia: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_ Teléfonos: \_\_\_\_\_

**Información general**

Título de la tesis: \_\_\_\_\_  
Grado a obtener: \_\_\_\_\_  
Justificación para el uso de la sala: \_\_\_\_\_

Duración: \_\_\_\_\_ Número de asistentes (máximo 40 personas): \_\_\_\_\_  
Fecha programada: \_\_\_\_\_ Horario: \_\_\_\_\_  
Tema central de la tesis: \_\_\_\_\_  
Contenidos a utilizar: \_\_\_\_\_

Realizará usted la interacción con los modelos durante la exposición:  Sí  No

En caso de utilizar material propio deberá verificar previamente que este se despliegue adecuadamente, en caso de ser necesario deberá reservar una sesión de trabajo previa.

La presente solicitud implica la observancia del Reglamento del Observatorio Ixtli.

\_\_\_\_\_  
Firma del solicitante

Fig. A.2.d. Solicitud para Realizar Exámenes Profesionales dentro de la Sala Ixtli U. N. A. M.



---

## APÉNDICE B.

### B.1. MAIN HOOP.

El Main Hoop deberá ser construido de una pieza simple sin cortes, continua y cerrada y de sección tubular de acero, como se muestra en la sección 2.4.2.

El uso de aleaciones de aluminio, aleaciones de titanio u otros materiales aleados, está prohibido para la construcción de este sistema.

El Main Hoop debe extenderse del miembro más bajo del armazón sobre un lado de la estructura, hacia arriba, por encima y hacia abajo del miembro más bajo del armazón del otro lado de la estructura.

En la vista de perfil del vehículo, la porción del Main Roll Hoop que yace por encima del punto de sujeción a la Estructura Principal del armazón, deberá estar dentro de 10 grados [°] de la vertical.

En la vista frontal del vehículo los miembros verticales del Main Hoop deberán estar a no menos de 380 [mm] (15 [inch]) aparte (dimensión interior) en la localidad donde el Main Hoop está sujetado a la Estructura Principal del Armazón. En los vehículos donde la Estructura Primaria no esta hecha de tubos de acero, el Main Hoop deberá ser continuo y extendido por debajo a la base del armazón.

### B.2. FRONT HOOP.

El Front Hoop deberá ser construido de una sección tubular metálica cerrada, como se muestra en la sección 2.4.2. El uso de materiales aleados está prohibido para la construcción del Front Hoop.

El Front Hoop debe extenderse del miembro más bajo del armazón sobre un lado de la estructura, hacia arriba, por encima y hacia abajo del miembro más bajo del armazón del otro lado de la estructura.

La superficie más alta del Front Hoop no debe ser más baja que el alto del volante en cualquier posición angular. El Front Roll Hoop debe estar a no más de 250 [mm] (9.8 [inches]) adelante del volante. Esta distancia será medida horizontalmente, sobre la línea central del vehículo (roll center), de la superficie trasera del Front Roll Hoop a la superficie frontal del borde del volante con la dirección en posición hacia delante en línea recta.



---

### **B.3. BRAZOS DEL FRONT HOOP.**

Los Brazos o Abrazaderas del Front Hoop deben construirse de una sección tubular de acero cerrada, como se muestra en la sección 2.4.2. El uso de aleaciones de aluminio, aleaciones de titanio u otros materiales aleados, está prohibido para la construcción de los brazos del Main Hoop.

El Front Hoop debe estar soportado por dos (2) brazos, extendiéndose en dirección hacia adelante, en ambos lados del vehículo (derecho e izquierdo) del mismo.

Los brazos del Front Hoop deben estar unidos tan cerca como sea posible de la parte más alta del mismo, pero no más de de 50.8 [mm] (2 [inches]) por debajo de la superficie del poste superior de éste.

### **B.4. BULKHEAD.**

El Bulkhead deberá estar construido por una sección tubular cerrada, como se muestra en la sección 2.4.2.

El Bulkhead deberá localizarse adelante de todos los elementos u objetos de los sistemas circundantes que no sufran o pueden ser aplastados en caso de un impacto, como lo son: baterías, cilindros maestros, entre otros. Éste, debe localizarse de tal forma que únicamente los pies del piloto, cuando aplique los pedales de mando, estos regresen o se mantengan dentro del plano de éste, no más allá de la zona de trabajo (Este plano es definido por la superficie más alejada adelante de la tubería). Si se utilizan pedales ajustables, estos deberán estar en la posición más delante de su recorrido.

### **B.5. SOPORTE FRONTAL DEL BULKHEAD.**

El Bulkhead deberá estar colocado con seguridad dentro del armazón. Éste deberá estar soportado atrás del Roll Hoop Frontal por un mínimo de tres (3) Miembros del Armazón sobre cada lado del vehículo, con un tubo en lo alto (dentro de 50.8 [mm] (2 [inches]) de la superficie más alta del mismo), otro en la base y, uno más como un brazo diagonal formando una triangulación. La triangulación deberá ser nodo a nodo con los triángulos formados por el Bulkhead.



---

## **B.6. ATENUADOR DE IMPACTO.**

El Atenuador de Impacto, deberá estar instalado adelante del Front Bulkhead; éste debe estar situado a no menos de 150 [mm] (5.9 [inch]) de largo, con esta longitud orientada a lo largo del eje delantero o anterior del armazón. Además, debe estar a no menos de 100 [mm] (3.9 [inch]) de alto y 200 [mm] (7.8 [inch]) de ancho, a una distancia mínima de 150 [mm] (5.9 [inch]) adelante del Bulkhead.

El Atenuador de Impacto deberá estar sujetado con seguridad y directamente al Front Bulkhead, de tal manera que éste, no pueda penetrar al mismo en una situación de un impacto. El Atenuador de Impacto NO debe unir al vehículo con el cuerpo de trabajo de la carrocería (compartimiento del piloto) y ninguna otra parte de la estructura.

La sujeción de este dispositivo deberá ser fabricado, con el fin de proveer una carga adecuada y uniforme en dirección de ésta, ya sea el caso de cargas transversales, verticales y longitudinales, en una situación fuera del centro o fuera del eje de impacto.



# APÉNDICE C.

## C.1. ANTROPOMETRÍA.

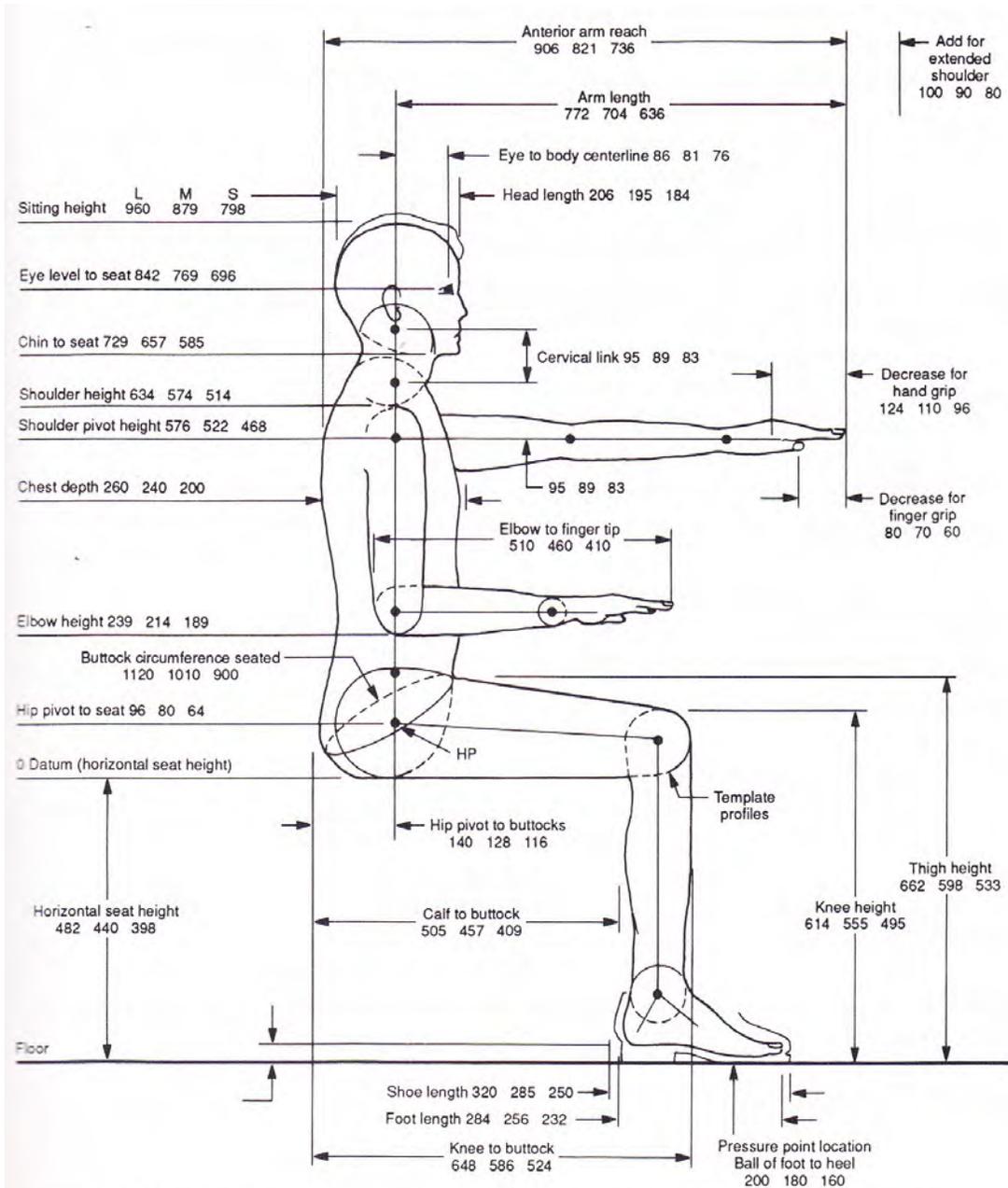


Figure 3.1. Sitting position. Reprinted with permission © 1989 by Society of Automotive Engineers, Inc.

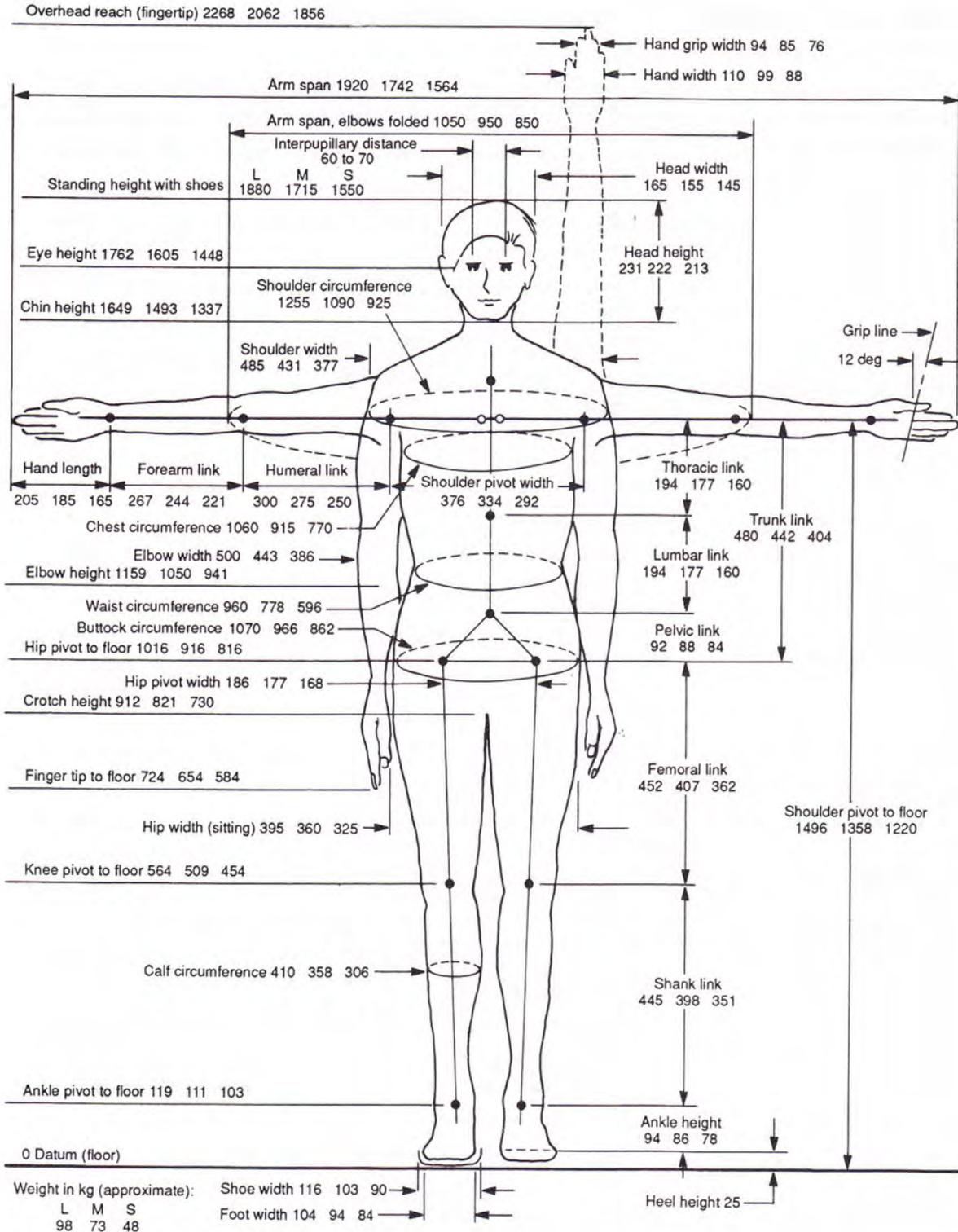
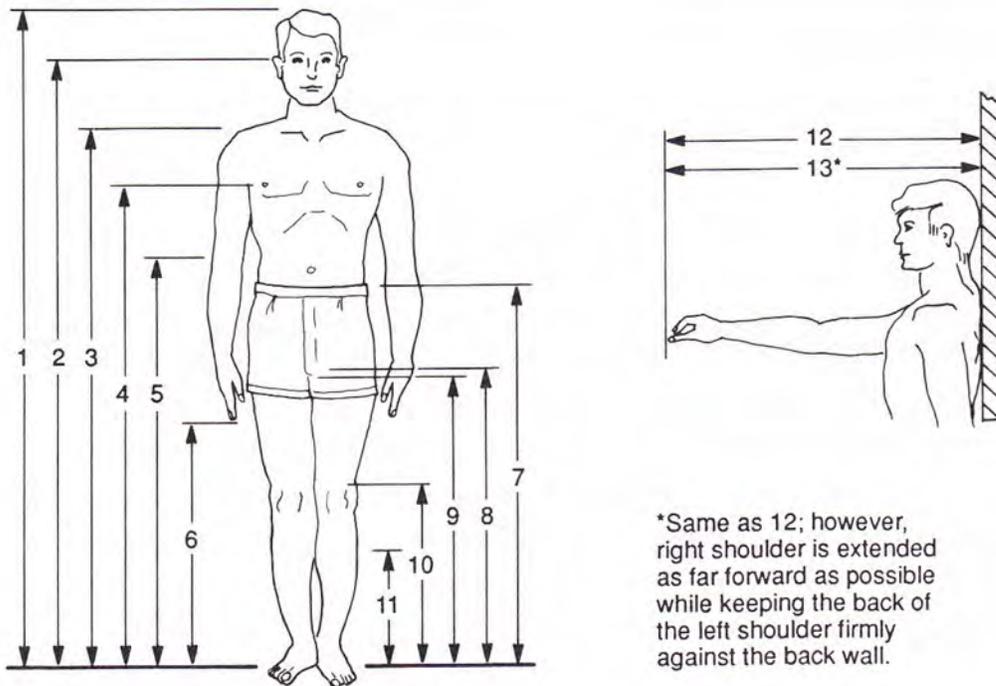


Figure 3.2. Standing position.



\*Same as 12; however, right shoulder is extended as far forward as possible while keeping the back of the left shoulder firmly against the back wall.

Figure 3.4. Standing body dimensions.

Table 3.1. Standing Body Dimensions

Standing Body Dimensions	5th Percentile			95th Percentile		
	Ground troops	Aviators	Women	Ground troops	Aviators	Women
Percentile values in centimeters						
Weight (kg)	55.5	60.4	46.4	91.6	96.0	74.5
1. Stature	162.8	164.2	152.4	185.6	187.7	174.1
2. Eye height (standing)	151.1	152.1	140.9	173.3	175.2	162.2
3. Shoulder (acromiale) height	133.6	133.3	123.0	154.2	154.8	143.7
4. Chest (nipple) height*	117.9	120.8	109.3	136.5	138.5	127.8
5. Elbow (radiale) height	101.0	104.8	94.9	117.8	120.0	110.7
6. Fingertip (dactylion) height		61.5			73.2	
7. Waist height	96.6	97.6	93.1	115.2	115.1	110.3
8. Crotch height	76.3	74.7	68.1	91.8	92.0	83.9
9. Gluteal furrow height	73.3	74.6	66.4	87.7	88.1	81.0
10. Kneecap height	47.5	46.8	43.8	58.6	57.8	52.5
11. Calf height	31.1	30.9	29.0	40.6	39.3	36.6
12. Functional reach	72.6	73.1	64.0	90.9	87.0	80.4
13. Functional reach, extended	84.2	82.3	73.5	101.2	97.3	92.7
Percentile values in inches						
Weight (lb)	122.4	133.1	102.3	201.9	211.6	164.3
1. Stature	64.1	64.6	60.0	73.1	73.9	68.5
2. Eye height (standing)	59.5	59.9	55.5	68.2	69.0	63.9
3. Shoulder (acromiale) height	52.6	52.5	48.4	60.7	60.9	56.6
4. Chest (nipple) height*	46.4	47.5	43.0	53.7	54.5	50.3
5. Elbow (radiale) height	39.8	41.3	37.4	46.4	47.2	43.6
6. Fingertip (dactylion) height		24.2			28.8	
7. Waist height	38.0	38.4	36.6	45.3	45.3	43.4
8. Crotch height	30.0	29.4	26.8	36.1	36.2	33.0
9. Gluteal furrow height	28.8	29.4	26.2	34.5	34.7	31.9
10. Kneecap height	18.7	18.4	17.2	23.1	22.8	20.7
11. Calf height	12.2	12.2	11.4	16.0	15.5	14.4
12. Functional reach	28.6	28.8	25.2	35.8	34.3	31.7
13. Functional reach, extended	33.2	32.4	28.9	39.8	38.3	36.5

\*Bust height for women

SOURCE: MIL-STD-1472D

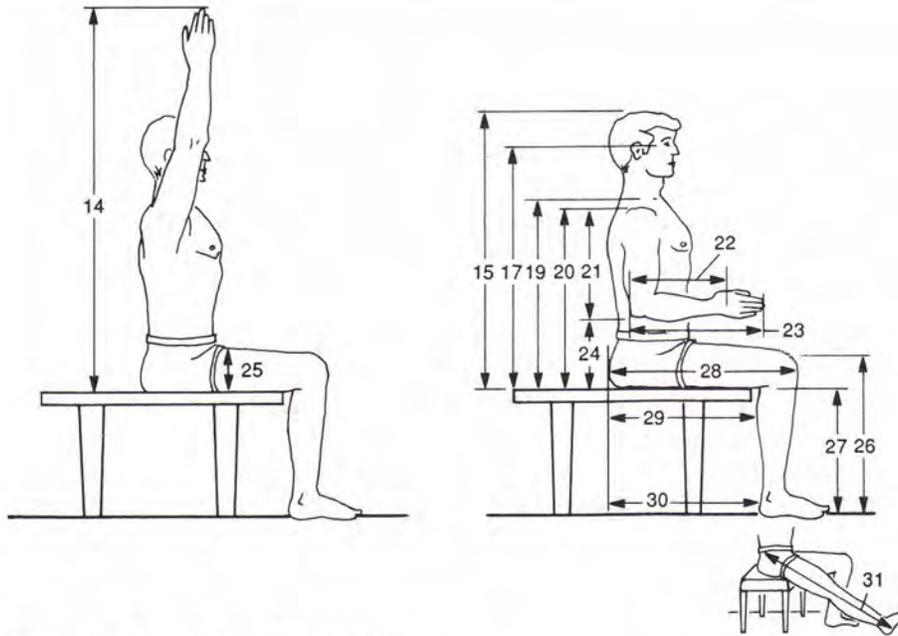


Figure 3.5. Seated body dimensions.

Table 3.2. Seated Body Dimensions

Seated body dimensions	5th Percentile			95th Percentile		
	Ground troops	Aviators	Women	Ground troops	Aviators	Women
Percentile values in centimeters						
14. Vertical arm reach, sitting	128.6	134.0	117.4	147.8	153.2	139.4
15. Sitting height, erect	83.5	85.7	79.0	96.9	98.6	90.9
16. Sitting height, relaxed	81.5	83.6	77.5	94.8	96.5	89.7
17. Eye height, sitting erect	72.0	73.6	67.7	84.6	86.1	79.1
18. Eye height, sitting relaxed	70.0	71.6	66.2	82.5	84.0	77.9
19. Midshoulder height	56.6	58.3	53.7	67.7	69.2	62.5
20. Shoulder height, sitting	54.2	54.6	49.9	65.4	85.9	60.3
21. Shoulder-elbow length	33.3	33.2	30.8	40.2	39.7	36.6
22. Elbow-grip length	31.7	32.6	29.6	38.3	37.9	35.4
23. Elbow-finger length	43.8	44.7	40.0	52.0	51.7	47.5
24. Elbow rest height	17.5	18.7	16.1	28.0	29.5	26.9
25. Thigh clearance height		12.4	10.4		18.8	17.5
26. Knee height, sitting	49.7	48.9	46.9	60.2	59.9	56.5
27. Popliteal height	39.7	38.4	38.0	50.0	47.7	45.7
28. Buttock-knee length	54.9	55.9	53.1	65.8	65.5	63.2
29. Buttock-popliteal length	45.8	44.9	43.4	54.5	54.6	52.6
30. Buttock-heel length		46.7			56.4	
31. Functional leg length	110.6	103.9	99.6	127.7	120.4	118.6
Percentile values in inches						
14. Vertical arm reach, sitting	50.6	52.8	46.2	58.2	60.3	54.9
15. Sitting height, erect	32.9	33.7	31.1	38.2	38.8	36.8
16. Sitting height, relaxed	32.1	32.9	30.5	37.3	38.0	35.3
17. Eye height, sitting erect	28.3	30.0	26.6	33.3	33.9	31.2
18. Eye height, sitting relaxed	27.6	28.2	26.1	32.5	33.1	30.7
19. Midshoulder height	22.3	23.0	21.2	26.7	27.3	24.6
20. Shoulder height, sitting	21.3	21.5	19.6	25.7	25.9	23.7
21. Shoulder-elbow length	13.1	13.1	12.1	15.8	15.6	14.4
22. Elbow-grip length	12.5	12.8	11.6	15.1	14.9	14.0
23. Elbow-finger length	17.3	17.6	15.7	20.5	20.4	18.7
24. Elbow rest height	6.9	7.4	6.4	11.0	11.6	10.6
25. Thigh clearance height		4.9	4.1		7.4	6.9
26. Knee height, sitting	19.6	19.3	18.5	23.7	23.6	21.8
27. Popliteal height	15.6	15.1	15.0	19.7	18.8	18.0
28. Buttock-knee length	21.6	22.0	20.9	25.9	25.8	24.9
29. Buttock-popliteal length	17.9	17.7	17.1	21.5	21.5	20.7
30. Buttock-heel length		18.4			22.2	
31. Functional leg length	43.5	40.9	39.2	50.3	47.4	46.7

SOURCE: MIL-STD-1472D

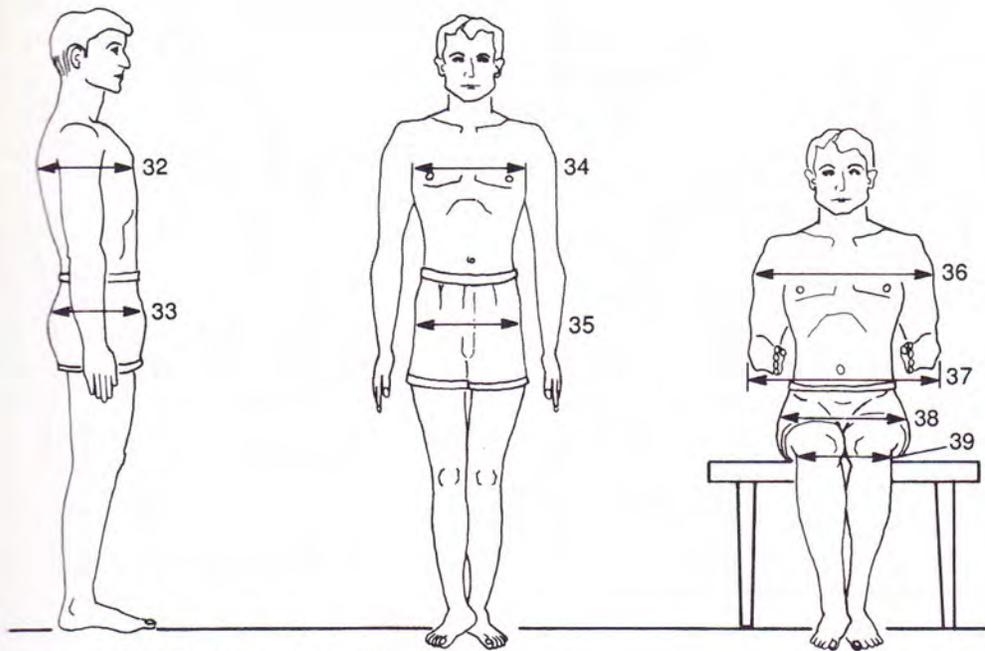


Figure 3.6. Depth and breadth dimensions.

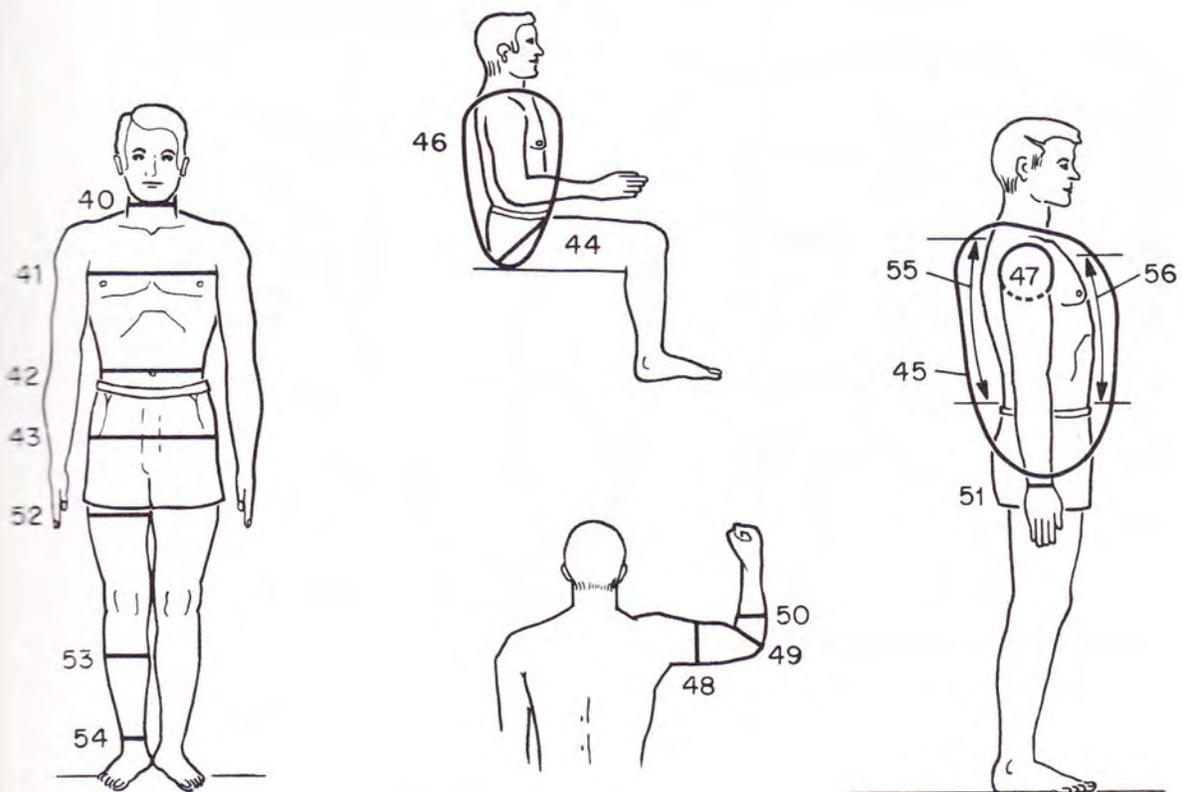
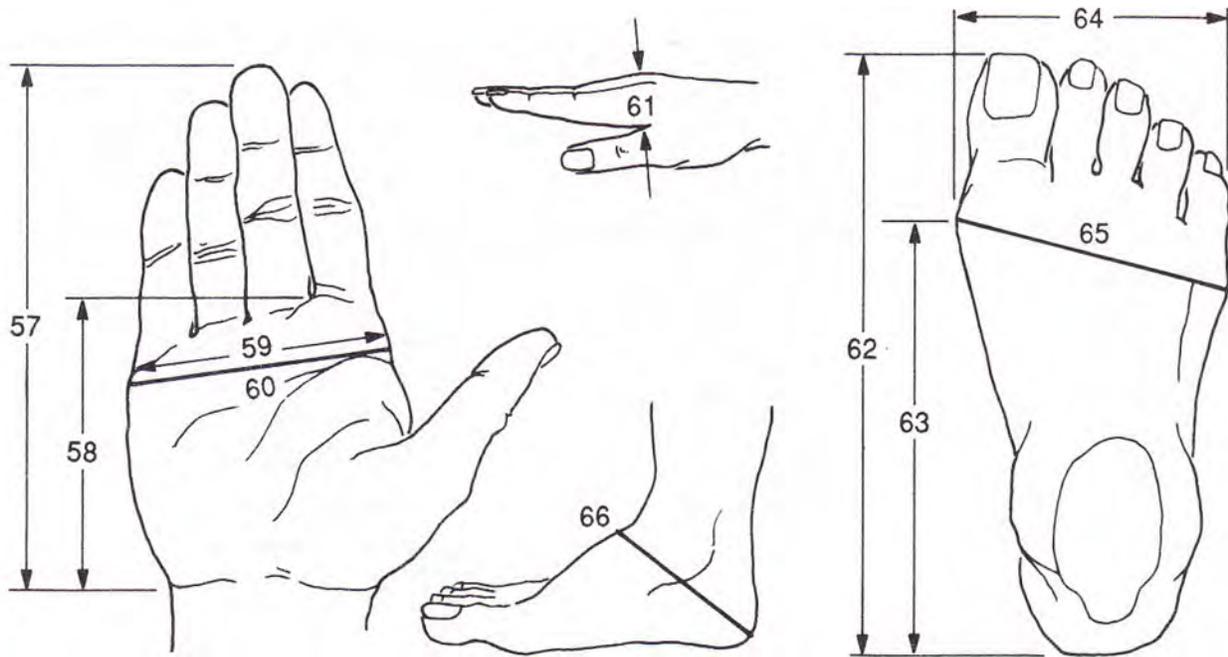


Figure 3.7. Circumferences and surface dimensions.



**Figure 3.8.** Hand and foot dimensions.

**Table 3.3.** Depth and Breadth Dimensions

Depth and breadth dimensions	5th Percentile			95th Percentile		
	Ground troops	Aviators	Women	Ground troops	Aviators	Women
Percentile values in centimeters						
32. Chest depth*	18.9	20.4	19.6	26.7	27.8	27.2
33. Buttock depth		20.7	18.4		27.4	24.3
34. Chest breadth	27.3	29.5	25.1	34.4	38.5	31.4
35. Hip breadth, standing	30.2	31.7	31.5	36.7	38.8	39.5
36. Shoulder (bideloid) breadth	41.5	43.2	38.2	49.8	52.6	45.8
37. Forearm-forearm breadth	39.8	43.2	33.0	53.6	60.7	44.9
38. Hip breadth, sitting	30.7	33.3	33.0	38.4	42.4	43.9
39. Knee-to-knee breadth		19.1			25.5	
Percentile values in inches						
32. Chest depth*	7.5	8.0	7.7	10.5	11.0	10.7
33. Buttock depth		8.2	7.2		10.8	9.6
34. Chest breadth	10.8	11.6	9.9	13.5	15.1	12.4
35. Hip breadth, standing	11.9	12.5	12.4	14.5	15.3	15.6
36. Shoulder (bideloid) breadth	16.3	17.0	15.0	19.6	20.7	18.0
37. Forearm-forearm breadth	15.7	17.0	13.0	21.1	23.9	17.7
38. Hip breadth, sitting	12.1	13.1	13.0	15.1	16.7	17.3
39. Knee-to-knee breadth		7.5			10.0	

\*Bust depth for women.

SOURCE: MIL-STD-1472D

**Table 3.5.** Hand and Foot Dimensions

Hand and foot dimensions	5th Percentile			95th Percentile		
	Ground troops	Aviators	Women	Ground troops	Aviators	Women
Percentile values in centimeters						
57. Hand length	17.4	17.7	16.1	20.7	20.7	20.0
58. Palm length	9.6	10.0	9.0	11.7	11.9	10.8
59. Hand breadth	8.1	8.2	6.9	9.7	9.7	8.5
60. Hand circumference	19.5	19.6	16.8	23.6	23.1	19.9
61. Hand thickness		2.4			3.5	
62. Foot length	24.5	24.4	22.2	29.0	29.0	26.5
63. Instep length	17.7	17.5	16.3	21.7	21.4	19.6
64. Foot breadth	9.0	9.0	8.0	10.9	11.6	9.8
65. Foot circumference	22.5	22.6	20.8	27.4	27.0	24.5
66. Heel-ankle circumference	31.3	30.7	28.5	37.0	36.3	33.3
Percentile values in inches						
57. Hand length	6.85	6.98	6.32	8.13	8.14	7.89
58. Palm length	3.77	3.92	3.56	4.61	4.69	4.24
59. Hand breadth	3.20	3.22	2.72	3.83	3.80	3.33
60. Hand circumference	7.68	7.71	6.62	9.28	9.11	7.82
61. Hand thickness		0.95			1.37	
62. Foot length	9.65	9.62	8.74	11.41	11.42	10.42
63. Instep length	6.97	6.88	6.41	8.54	8.42	7.70
64. Foot breadth	3.53	3.54	3.16	4.29	4.58	3.84
65. Foot circumference	8.86	8.91	8.17	10.79	10.62	9.65
66. Heel-ankle circumference	12.32	12.08	11.21	14.57	14.30	13.11

SOURCE: MIL-STD-1472D



**Table 3.4.** Circumferences and Surface Dimensions

Circumferences	5th Percentile			95th Percentile		
	Ground troops	Aviators	Women	Ground troops	Aviators	Women
Percentile values in centimeters						
40. Neck circumference	34.2	34.6	29.9	41.0	41.6	36.7
41. Chest circumference*	83.8	87.5	78.4	105.9	109.9	100.2
42. Waist circumference	68.4	73.5	59.5	95.9	101.7	83.5
43. Hip circumference	85.1	87.1	85.5	106.9	108.4	106.1
44. Hip circumference, sitting		97.0	87.7		119.3	110.8
45. Vertical trunk circumference, standing	150.6	156.3	142.2	178.6	181.9	166.3
46. Vertical trunk circumference, sitting		150.4	134.8		175.0	161.0
47. Arm scye circumference	39.6	39.9	33.6	50.3	53.0	41.7
48. Biceps circumference, flexed	27.0	27.8	23.2	37.0	36.9	30.8
49. Elbow circumference, flexed		28.5	23.5		34.2	30.0
50. Forearm circumference, flexed	26.1	26.3	22.2	33.1	33.1	27.5
51. Wrist circumference	15.7	15.3	13.6	18.6	19.2	16.2
52. Upper thigh circumference	48.1	49.6	48.7	63.9	66.9	64.5
53. Calf circumference	31.6	33.3	30.6	41.2	41.3	39.2
54. Ankle circumference	19.3	20.0	18.7	25.2	24.8	23.3
55. Waist back length	39.2	42.4	36.7	50.8	50.9	45.4
56. Waist front length	36.1	35.7	30.5	46.2	44.2	41.4
Percentile values in inches						
40. Neck circumference	13.5	13.6	11.8	16.1	16.4	14.4
41. Chest circumference*	33.0	34.4	30.8	41.7	43.3	39.5
42. Waist circumference	26.9	28.9	23.4	37.8	40.0	32.9
43. Hip circumference	33.5	34.3	33.7	42.1	42.7	41.8
44. Hip circumference, sitting		38.2	34.5		47.0	43.6
45. Vertical trunk circumference, standing	59.3	61.6	56.0	70.3	71.6	65.5
46. Vertical trunk circumference, sitting		59.2	53.1		68.9	63.4
47. Arm scye circumference	15.6	15.7	13.2	19.8	20.9	16.4
48. Biceps circumference, flexed	10.6	11.0	9.1	14.6	14.5	12.1
49. Elbow circumference, flexed		11.2	9.2		13.5	11.8
50. Forearm circumference, flexed	10.3	10.4	8.7	13.0	13.0	10.8
51. Wrist circumference	6.2	6.0	5.4	7.3	7.6	6.4
52. Upper thigh circumference	18.9	19.5	19.2	25.1	26.3	25.4
53. Calf circumference	12.4	13.1	12.0	16.2	16.3	15.4
54. Ankle circumference	7.6	7.9	7.4	9.9	9.7	9.2
55. Waist back length	15.4	16.7	14.4	20.0	20.0	17.9
56. Waist front length	14.2	14.1	12.0	18.2	17.4	16.3

\*Bust circumference for women.

SOURCE: MIL-STD-1472D



# APÉNDICE D.

## D.1. CARACTERÍSTICAS DE NEUMÁTICOS ESPECIALES.

### EAGLE® SPORTS CAR SPECIAL

#### G-19 FORMULA EAGLE

- A 21" tall Formula Ford and Formula Continental for quick turn-in response
- Radial tires in GTI and Formula Atlantic
- Dry cornering, traction and stability
- Large selection of compounds for different track conditions
- Great handling and traction
- Quick steering response

G-19 Formula Eagle

### FORMULA

Product Code	Size	**Suggested In 7500-41 Price		SOFT TO HARDER →				Rim	Overall Diameter	Section Width	Tread Width	Height		
				R005	R115	R168	R175							
R07-002-060 Mati. No.	18.007.5-10	\$131.00	F500	2258 190326			1967 191307	6	18.0	7.4	8.5	8.8		
R07-003-060 Mati. No.	18.007.5-10	\$144.00	F500	2200 190327			1968 191323	8.5	18.0	8.1	7.5	10.0		
R07-485-060 Mati. No.	19.000.5-10	\$120.00	F500	2201 194487			1071 191583	6	19.0	8.2	6.5	11.5		
R07-005-060 Mati. No.	19.007.5-10	\$140.00	F500	2262 194488			1072 191536	8.5	19.5	8.8	7.5	12.0		
					R168	R175	R258	R408	R475	R600				
R07-364-060 Mati. No.	20.000.0-11	\$151.00	F5 S2000	1029 187920			1588 189888	2223 164820	3321 125151	5.5	20.0	7.3	6.2	10.0
R07-009-060 Mati. No.	20.000.5-11	\$153.00	F5	2273 183352	2274 183353					6	20.5	7.7	6.4	8.5
R07-274-060 Mati. No.	22.540.5-11	\$181.00	F5	1071 180757	1075 190551	1588 189888	2030 21348		2015 94808	5.5	22.4	10.2	7.4	15.2
R07-293-060 Mati. No.	20.007.0-11	\$163.00	F252000 F5	1586 184628	1561 190467	1578 194221	1000 140841			6.0-8.8	20.5	8.7	7.2	10.0
R07-434-060 Mati. No.	20.008.0-11	\$156.00	CSR F5	1763 188513	1085 190748				2620 23409	8	20.0	8.1	7.7	11.0
R07-135-060 Mati. No.	22.000.8-11	\$188.00	CSR F5	1764 188511	1086 190746			1071 100642	2621 23321	10	22.3	11.2	8.8	14.0
R07-061-060 Mati. No.	20.000.5-11	\$171.00	F5MFL	1073 164637	1061 190637					10	20.5	10.0	8.1	9.5
R07-084-060 Mati. No.	22.000.0-11	\$170.00	EWL-F5 F252000	2184 193189	2185 193733	1678 184287	1007 140842			8.8-10.0	22.5	11.3	8.2	14.4
R07-015-060 Mati. No.	23.0015.0013	\$227.00	F5MFL		1953 190630					14	23.0	16.1	12.1	20.0
R07-483-060 Mati. No.	21.000.5-15	\$144.00	F5				1480 188251			4	21.5	5.8	5.0	8.1
R07-075-060 Mati. No.	21.000.0-15	\$140.00	F5				1487 188252			4	21.5	5.2	4.3	8.4
R07-138-060 Mati. No.	22.505.5-15	\$151.00	F5				1489 188249			4	22.3	6.2	5.2	10.1
R07-488-060 Mati. No.	21.007.0-11	\$150.00	F5C-F5	2296 194030						6	21.5	8.1	7.2	11.0



## EAGLE® SPORTS CAR SPECIAL



### PRO-MAZDA

Product Code	Size	**Suggested No Trade-in Price	SOFT TO HARDER →				Rim	Overall Diameter	Section Width	Tread Width	Weight
			R250	R45H	R620	R800					
#17-293-068 Mott. No.	21.0x8.0-13	\$168.00	2177 182211	2277 193948	2287 193362	2288 194089	9	21.2	8.8	8.1	11.2
#17-336-068 Mott. No.	22.0x11.8-13	\$185.00	2179 182268	2278 193947	2288 193361	2290 194088	11	22.5	12.6	10.7	14.5

### FORMULA SAE

Product Code	Size	**Suggested No Trade-in Price	SOFT TO HARDER →		Rim	Overall Diameter	Section Width	Tread Width	Weight
			R066	R188					
#17-082-068 Mott. No.	18.0x6.5-18	\$104.00	1383 182750		6	18.0	7.4	6.5	8.8
#17-083-068 Mott. No.	18.0x7.5-18	\$113.00	1384 182760		8.5	18.0	8.1	7.5	10.0
#17-089-068 Mott. No.	20.0x6.5-13	\$119.00	1385 182763	2279 193362	6	20.5	7.7	6.4	8.5
#17-434-068 Mott. No.	20.0x8.0-13	\$127.00	1386 182767		8	20.0	8.2	8.1	11.0
#17-293-068 Mott. No.	20.0x7.0-13	\$120.00	2588 187854		6.0-8.0	20.5	8.7	7.2	10.0

### SPEC RACER FORD

- A400 compound for excellent traction and long wear
- Construction only for Spec Ford
- Hand-carved rain tire for wet weather conditions



Spec Racer Ford

### SPEC RACER FORD

Product Code	Size	**Suggested No Trade-in Price	SOFT TO HARDER →		Rim	Overall Diameter	Section Width	Tread Width	Weight
			R250	R45H					
#17-389-068 Mott. No.	22.0x7.0-13	\$150.00		2525 199605	5.5	21.9	8.8	7.1	17.5
#17-389-068 Mott. No.	22.0x7.0-13	\$150.00		2525 199605	7	21.9	9.4	7.1	17.5
#17-389-086 Mott. No.	22.0x7.0-13 16-241	\$175.00	2584 189787		7	22.6	9.3	7.0	16.8



# GOODYEAR

## #1 in Racing

### FORMULA SAE

#### SUMMARY OF TIRE INFORMATION FOR FORMULA SAE TIRE CODES

PRODUCT CODE	TIRE SIZE (INCHES)	OPTIONAL RIM WIDTHS (INCHES)	COMPOUND	WEIGHT (POUNDS)	MEASURED RIM WIDTH (INCHES)	O.D. AT 14 PSI (INCHES)	S.W. AT 14 PSI (INCHES)	T.W. AT 14 PSI (INCHES)
807-002-068-D1103	18.0x6.5-10	6.0-8.0	R085	10.3	6.0	18.10	7.30	6.50
807-002-068-D1010	18.0x6.5-10	6.0-8.0	R115	10.3	6.0	18.10	7.30	6.50
807-003-068-D1012	18.0x7.5-10	7.0-9.0	R115	10.7	8.5	18.20	9.10	7.50
807-479-068-D3421	19.5x6.5-10	6.0-8.0	R093	10.0	6.0	19.70	8.20	6.60
807-479-068-D3284	19.5x6.5-10	6.0-8.0	R115	10.0	6.0	19.70	8.20	6.60
807-213-068-D3422	19.5x7.5-10	7.0-9.0	R093	10.3	8.5	19.50	9.85	7.60
807-213-068-D3363	19.5x7.5-10	7.0-9.0	R115	10.3	8.5	19.50	9.85	7.60
807-089-068-D3419	20.0x6.5-13	6.0-8.0	R093	8.8	6.0	20.50	7.70	6.70
807-089-068-D3312	20.0x6.5-13	6.0-8.0	R120	8.8	6.0	20.50	7.70	6.70
807-434-068-D3420	20.0x8.0-13	7.0-9.0	R093	11.1	8.0	19.90	9.30	7.70
807-434-068-D2526	20.0x8.0-13	7.0-9.0	R160	11.1	8.0	19.90	9.30	7.70

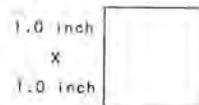
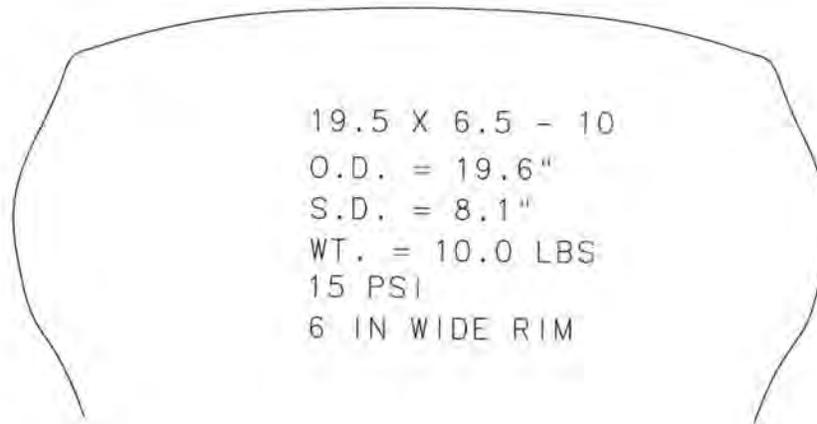


Fig. D.1. Especificaciones Técnicas de Neumáticos para Competencia FSAE.



## D.2. GRÁFICAS Y TABLAS COMPARATIVAS BAJO CARGA DE NEUMÁTICOS FSAE.

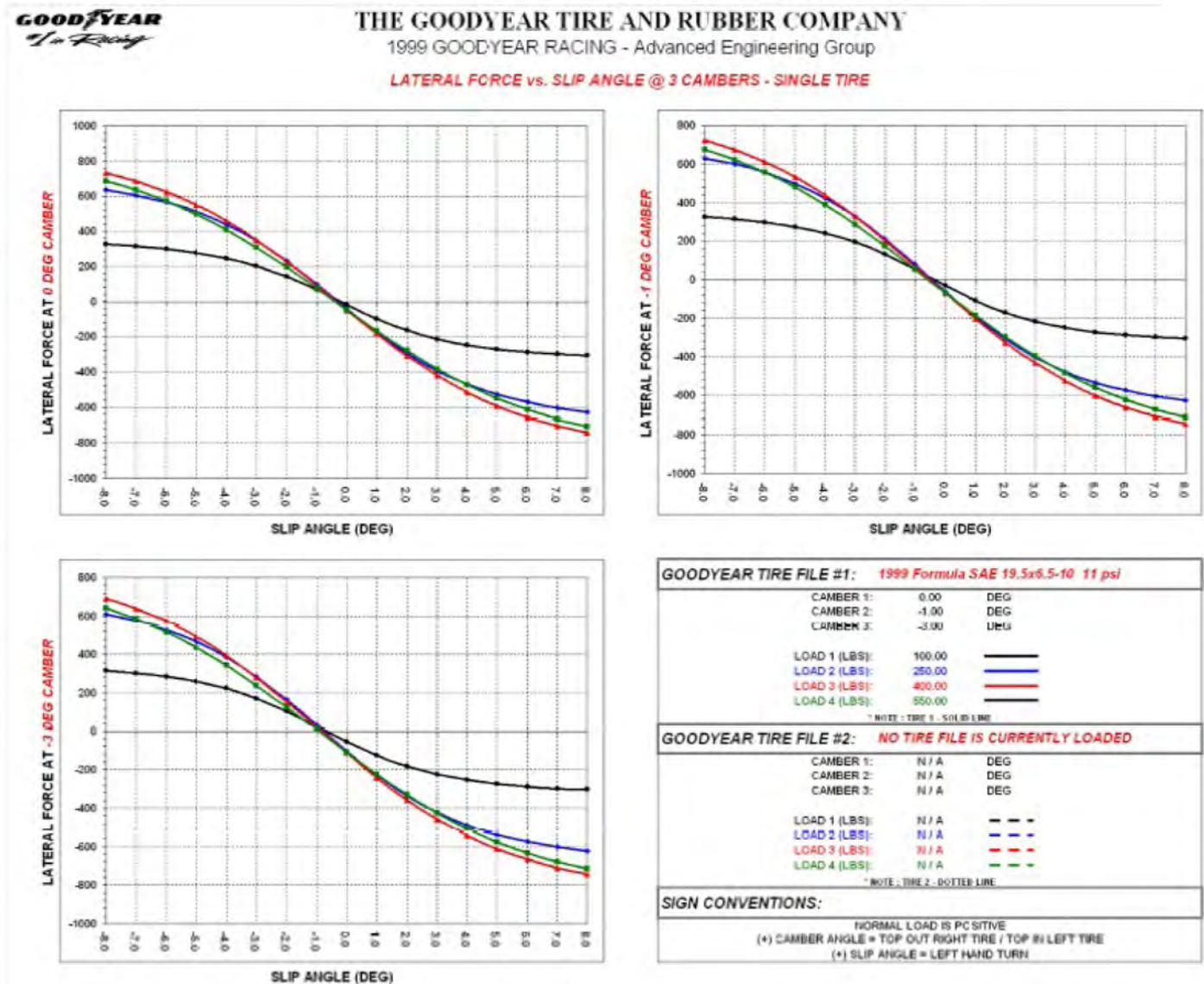


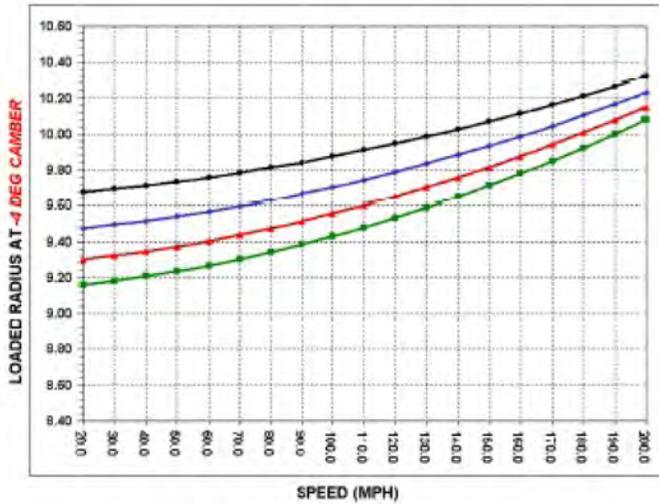
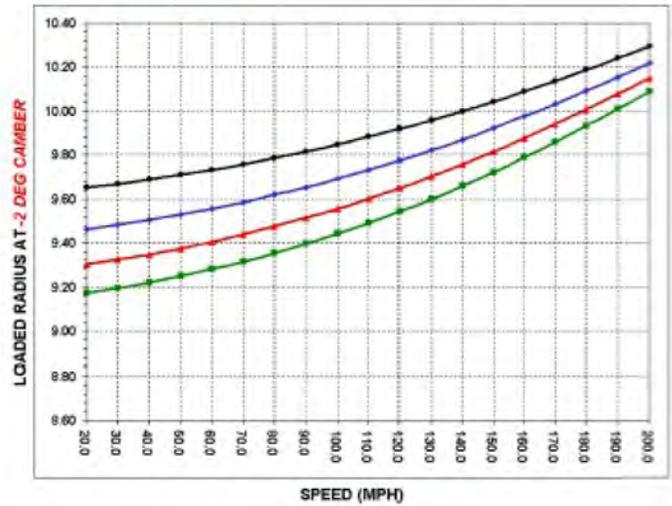
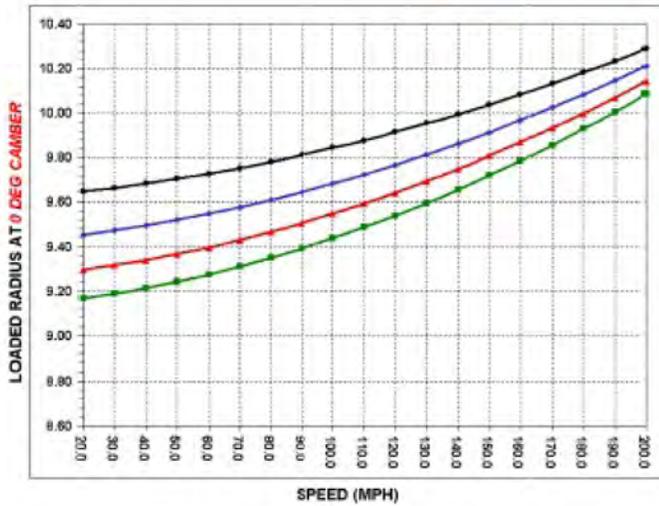
Fig. D.2.a. Fuerza Lateral vs. Ángulo de Deslizamiento @ 3 diferentes Cambers (Ángulos de Inclinación).



THE GOODYEAR TIRE AND RUBBER COMPANY

1999 GOODYEAR RACING - Advanced Engineering Group

LOADED RADIUS vs. SPEED @ 3 CAMBERS - SINGLE TIRE



<b>GOODYEAR TIRE FILE #1:</b> 1999 Premium SAE - 19.5x6.3-17 at 1.5psi	
CAMBER 1:	0.00 DEG
CAMBER 2:	-2.00 DEG
CAMBER 3:	-4.00 DEG
LOAD 1 (LBS):	100.00 ———
LOAD 2 (LBS):	250.00 ———
LOAD 3 (LBS):	400.00 ———
LOAD 4 (LBS):	550.00 ———
* NOTE - TIRE 1 - SOLID LINE	
<b>GOODYEAR TIRE FILE #2:</b> NO TIRE FILE IS CURRENTLY LOADED	
CAMBER 1:	N / A DEG
CAMBER 2:	N / A DEG
CAMBER 3:	N / A DEG
LOAD 1 (LBS):	N / A - - - -
LOAD 2 (LBS):	N / A - - - -
LOAD 3 (LBS):	N / A - - - -
LOAD 4 (LBS):	N / A - - - -
* NOTE - TIRE 2 - DOTTED LINE	
<b>SIGN CONVENTIONS:</b>	
NORMAL LOAD IS PC SITIVE	
(+*) CAMBER ANGLE = TOP OUT RIGHT TIRE / TOP IN LEFT TIRE	
(+*) SLIP ANGLE = LEFT HAND TURN	

Fig. D.2.b. Radio Cubierto vs. Velocidad @ 3 diferentes Cambers (Ángulos de Inclinación).



## APÉNDICE E.

### E.1. ESFUERZOS MECÁNICOS.

Los esfuerzos mecánicos de un material, son los valores que se obtienen y que se estudian en relación a las propiedades internas que posee cada material. Entre estos esfuerzos, existen diferentes criterios que deben considerarse, como son el tipo de material, las propiedades físicas producidas por la fatiga del material, los esfuerzos estructurales y las vibraciones; y al propio diseño del producto y a la seguridad de los productos finales, es decir, esto implica que en el diseño de los productos se garantice su uso y se prolongue el tiempo de trabajo y de vida. [Ref. 5, Capítulo 4.]

**Resistencia de Materiales:** La mecánica de sólidos o resistencia de materiales, se ocupa del estudio de los efectos causados por la acción de cargas externas que actúan sobre un sistema deformable. Analiza las fuerzas internas en sus diferentes componentes, las deformaciones correspondientes y las relaciones que existen entre ambas. Esto permite, en base a estos análisis, tomar decisiones acerca de los materiales que se emplearán, así como del tamaño y geometría de las piezas que se diseñen, o bien concluir si una pieza es capaz de resistir un sistema de cargas propuesto.

**Esfuerzo Permisible:** Un diseño no puede estar basado en el esfuerzo que produzca falla, sino que el diseñador debe dar un margen de seguridad al diseño, para que el esfuerzo real pueda incrementarse por factores imprevistos y no se produzca falla en el material. Este valor se denomina *esfuerzo permisible, esfuerzo de trabajo o esfuerzo de diseño*.

**Factor de Seguridad:** Es el número entre el cual se divide la resistencia de un material, para obtener el esfuerzo de trabajo o de diseño. Las relaciones que nos proporcionan los esfuerzos de trabajo para materiales dúctiles y frágiles están dadas por las siguientes expresiones.

$$\sigma_w = \frac{\sigma_{yp}}{FS} \dots\dots\dots (E.1.a.)$$

$$\sigma_w = \frac{\sigma_u}{FS} \dots\dots\dots (E.1.b.)$$

Donde:

$\sigma_{yp}$  = Esfuerzo de Cedencia [MPa]

$\sigma_u$  = Esfuerzo Último [MPa]

$\sigma_w$  = Esfuerzo de Trabajo [MPa]

FS = Factor de Seguridad [1]



**Esfuerzo y Deformación:** Cuando a un cuerpo se le aplica una fuerza externa que tiende a cambiar su forma o tamaño, el cuerpo se resiste a esa fuerza. La resistencia interna del cuerpo, se conoce como *esfuerzo* y los cambios en las dimensiones del cuerpo que la acompañan, se llaman *deformaciones*.

El esfuerzo total, es la resistencia interna total que actúa en una sección del cuerpo. Por lo general, la cantidad determinada es la intensidad de esfuerzo o esfuerzo unitario, definida como el esfuerzo por unidad de área. El esfuerzo unitario, generalmente se expresa en unidades de  $[lb_f/in^2]$  y, para una carga axial tensil o una compresiva, se calcula como la carga por unidad de área. La deformación total en cualquier dirección es el cambio total de una dimensión del cuerpo en esa dirección, y la deformación o tensión unitaria es la deformación por unidad de longitud en esa dirección.

**Diagrama Esfuerzo-Deformación:** El diagrama esfuerzo-deformación, puede emplearse para determinar varias características de resistencia del material. Entre estas, se encuentran: *el límite de proporcionalidad, el punto de cedencia o fluencia, el límite elástico, la zona elástica, la zona plástica, el límite elástico aparente o de fluencia, la resistencia límite, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad o módulo de Young (E) y el módulo de tenacidad.*

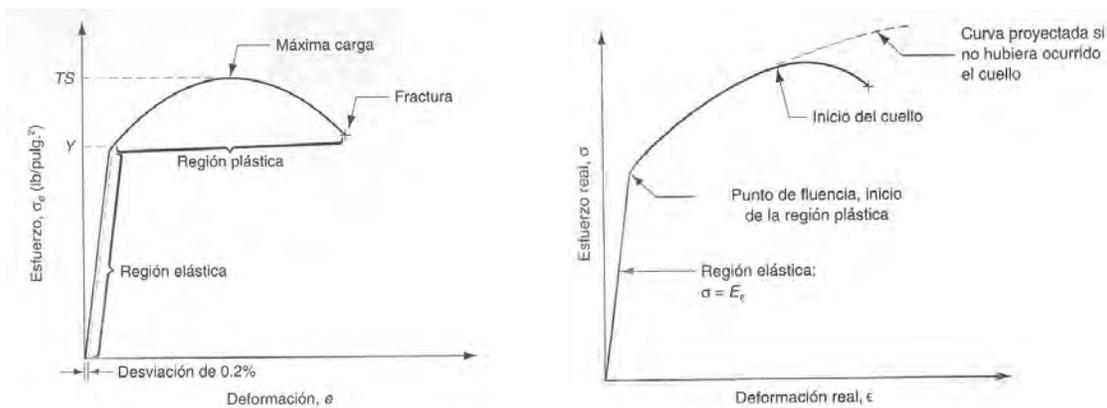


Fig. E.1. Diagrama Esfuerzo contra Deformación Unitaria y Real en el Ensayo de Tensión de un Metal.

- **Límite de Proporcionalidad.** Es el punto de la curva, hasta el cual, la deformación unitaria es proporcional al esfuerzo aplicado. Al esfuerzo que caracteriza a este punto se le llama *esfuerzo límite de proporcionalidad ( $\sigma_{LP}$ )*.
- **Punto de Cedencia o Fluencia.** Conforme a la carga que se aplica en la pieza a prueba, aumenta más allá del límite elástico, se alcanza un esfuerzo al cual el material continúa deformándose sin que haya incremento de la carga. El esfuerzo en el punto Y de un diagrama esfuerzo-deformación, se conoce como punto de cedencia o fluencia. El esfuerzo puede disminuir realmente por un momento, resultando en un punto de cedencia superior y en uno inferior. Al esfuerzo que caracteriza este punto se la llama *esfuerzo de cedencia o de fluencia ( $\sigma_y$ )*.



- 
- **Límite Elástico.** Es la tensión máxima que puede producirse durante un ensayo de tracción simple, de modo que no haya deformación permanente cuando se suprime totalmente la carga. Para muchos materiales, son casi idénticos los valores numéricos del límite elástico y del límite de proporcionalidad, por lo que algunas veces, se considera sinónimos. En los casos en que es notoria la diferencia, el límite elástico es casi siempre mayor que el de proporcionalidad.
  - **Zona Elástica.** Es la región del diagrama esfuerzo-deformación, que va desde el origen hasta el límite de proporcionalidad.
  - **Zona Plástica.** Es la región del diagrama esfuerzo-deformación, que va a partir del límite de proporcionalidad.
  - **Límite Elástico Aparente o de Fluencia.** A la ordenada del punto Y, en el que se produce un aumento de deformación sin aumento de tensión, se le conoce como *límite elástico aparente o límite de fluencia del material*. Cuando la carga ha aumentado hasta el punto Y, se dice que se produce fluencia.
  - **Resistencia Límite.** La *resistencia límite o la resistencia de tensión*, es el esfuerzo máximo desarrollado por el material, basado en el área transversal original.
  - **Resistencia a la Ruptura.** Es el esfuerzo basado en la sección original, que produce la fractura del material.
  - **Módulo de Elasticidad o Módulo de Young ( $E$ ).** Es la interpretación física de la pendiente de la recta del diagrama esfuerzo-deformación unitaria y es el valor real de la constante de proporcionalidad entre esfuerzo-deformación, cuando se está por abajo del límite de proporcionalidad.
  - **Módulo de Tenacidad.** El trabajo realizado en un volumen de material, cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero hasta el valor que produce la ruptura del mismo, se define como módulo de tenacidad.

## E.2. TEORÍA DE FALLA.

La **Falla de un material**, es un estado de condición del mismo, por el cual una pieza o una estructura no satisfacen la función para la cual fueron proyectadas o diseñadas. En el diseño de ingeniería podemos distinguir los siguientes tipos de fallas: [Ref. 5, Capítulo 4.]



- **Falla por Deformación.** Se presenta cuando el esfuerzo inducido en el material, produce una deformación excesiva (elástica o plástica) que impide el funcionamiento correcto de las piezas o elementos en estudio. Las propiedades del material que deben considerarse en el análisis son: el módulo de elasticidad, el esfuerzo límite de proporcionalidad y el esfuerzo de cedencia según el caso (deformación elástica o plástica).
- **Falla por Fractura.** Esta falla se caracteriza por la ruptura completa del material bajo carga estática y, la *resistencia última*, es la propiedad básica que debe tomarse en cuenta para el análisis.
- **Falla por Fatiga.** Ésta, se presenta cuando el material se fractura bajo el efecto de cargas que varían continuamente. La base para la evaluación de la resistencia del material bajo carga variable es el *límite de fatiga*.
- **Falla por Termofluencia.** Se caracteriza por excesiva deformación plástica después de un largo periodo de tiempo bajo *esfuerzo constante*.
- **Falla por Carga de Impacto.** Cuando una carga se aplica de forma súbita o por choque sobre una pieza, su efecto es más perjudicial que en el caso de cargas gradualmente aplicadas. La falla puede presentarse, ya sea por deformación excesiva o por fractura, según el tipo de material.
- **Teoría de Esfuerzo Cortante Máximo (Tresca).** Esta teoría puede expresarse como: *“La falla de una pieza sujeta a un estado uniaxial de esfuerzos, la cual ocurrirá cuando el esfuerzo cortante máximo iguale o exceda el esfuerzo cortante máximo correspondiente al momento de falla en el ensayo de tracción simple, efectuado con una probeta del mismo material”*. En un estado biaxial de esfuerzos, pueden darse dos esfuerzos cortantes  $\tau$  que son:

$$\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \dots\dots\dots (E.2.a.)$$

Donde:

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$  = *Esfuerzos Principales.*

$\tau_{12}$  = *Esfuerzo Cortante.*

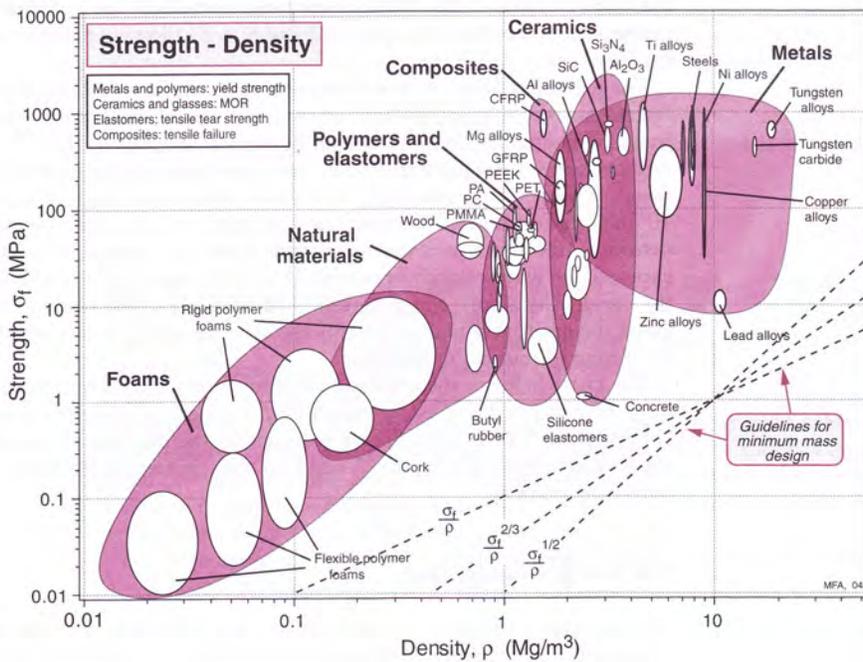
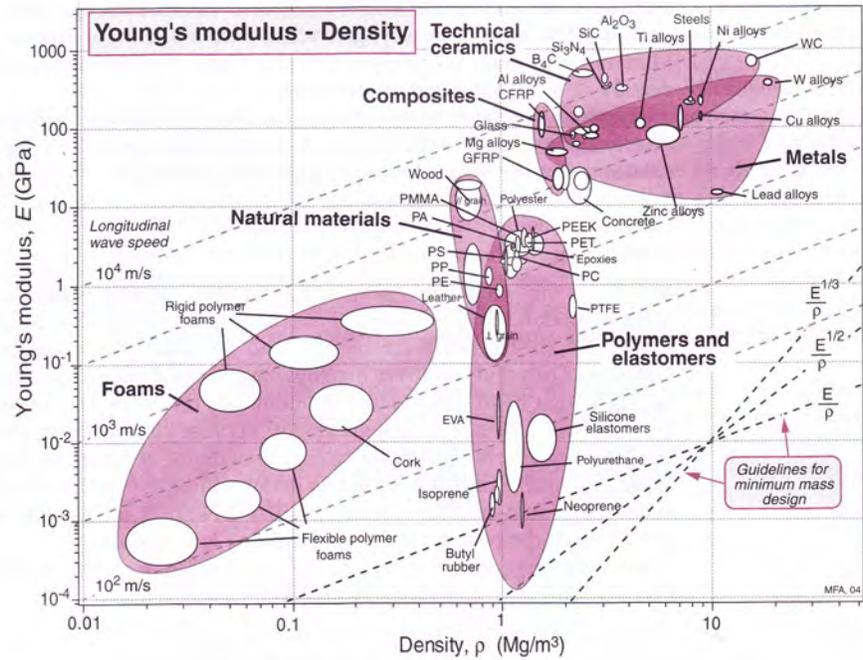
- **Teoría de Energía de Distorsión (von Mises).** Un componente estructural dado, es seguro siempre y cuando, el *valor máximo de la energía de distorsión por unidad de volumen* en dicho material, *sea menor que la energía de distorsión por unidad de volumen requerido para causar fluencia* en una probeta de prueba de tracción del mismo material. Esta teoría puede expresarse en términos matemáticos como:

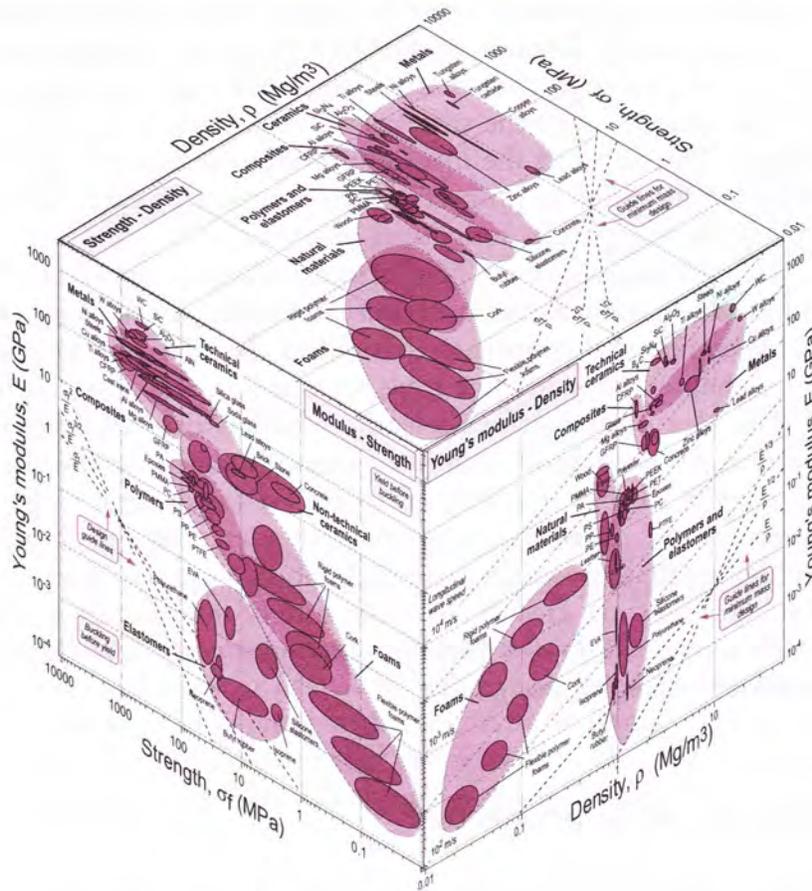
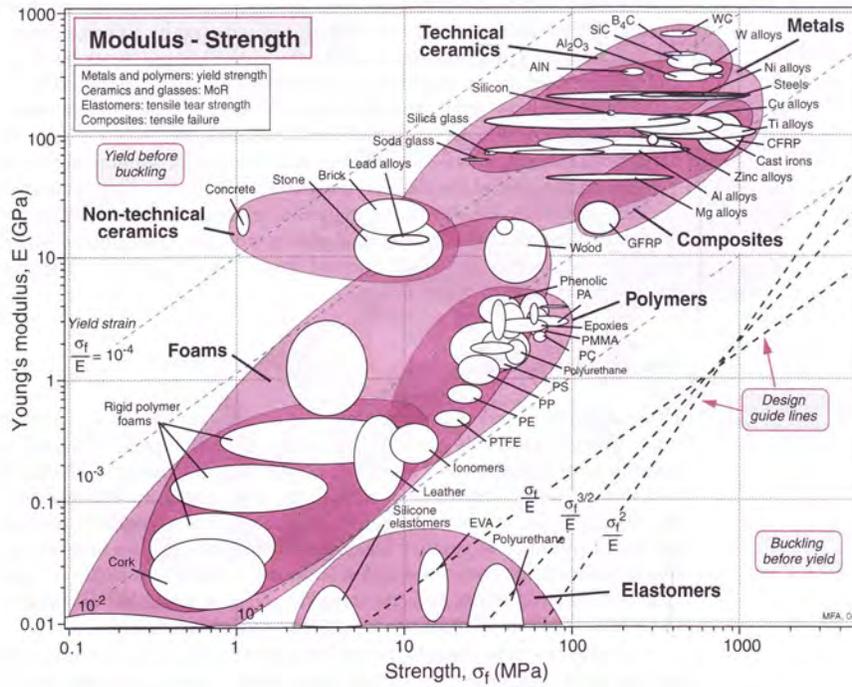
$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \dots\dots\dots (E.2.b.)$$



# APÉNDICE F.

## F.1. GRÁFICAS DE ASHBY PARA LA SELECCIÓN DE MATERIAL.







# APÉNDICE G.

## G.1. PRECIOS DE TUBERÍA DE ACERO.



**TUBERIA DE ACERO**  
XTA 0212  
Vigencia a partir del 16 de Febrero 2012  
última lista de precios subestige en 33A0112

www.muellermexico.com  
01 836 112 0 113

**LISTA DE PRECIOS**  
**MUELLER COMERCIAL DE MEXICO**  
S. DE R.L. DE C.V.



**TUBERIA DE CONDUCCION 6.40 mts**

Diámetro	CEDULA 40				C-80 ASTM A53 / API 5L negro est. liso	X - 200	
	Galvanizado		negro			Galvanizado	Negro
	con rosca	est. liso	con rosca	est. liso		con rosca	con rosca
1/2"	252.03	244.61	214.28	204.06	264.61	201.08	172.30
3/4"	334.86	325.00	284.69	271.14	356.77	269.30	233.57
1"	503.56	483.17	428.13	407.74	526.66	378.68	321.95
1-1/4"	680.40	652.86	578.48	550.33	728.10	512.79	437.77
1-1/2"	815.66	782.63	693.47	660.46	881.31	618.80	526.11
2"	1,094.26	1,049.96	930.39	886.04	1,218.30	815.84	692.65
2-1/2"	1,736.21	1,665.92	1,478.14	1,405.84		1,206.61	1,110.89
3"	2,272.74	2,180.72	1,932.39	1,840.28		1,705.29	1,449.84
4"	3,235.34	3,104.34	2,750.69	2,619.70		2,405.16	2,044.88

**TUBERIA CONDUIT 3.20 mts**

**RIGIDO UL-8**

Diámetro	Galvanizado con rosca
1/2"	147.52
3/4"	196.04
1"	291.54
1-1/4"	393.92
1-1/2"	472.05
2"	633.55
2-1/2"	1,004.16
3"	1,314.49
4"	1,873.09

**TABLA DE PESOS**

Diámetro	Piezas por Atado	C-40 C-80 X - 200 CONDUIT				C-40 C-80 X - 200 CONDUIT			
		Kgs por Pieza				Kgs por Atado			
1/2"	120	8.12	10.37	6.84	4.06	976	1,244	821	487
3/4"	84	10.82	14.05	9.23	5.40	909	1,182	774	458
1"	60	16.00	20.74	12.58	8.00	860	1,244	755	480
1-1/4"	42	21.69	28.61	17.60	10.84	811	1,202	739	455
1-1/2"	36	25.92	34.62	20.67	13.00	813	1,246	744	468
2"	28	34.82	47.86	28.60	17.80	905	1,244	744	452
2-1/2"	18	55.24	74.30	44.30	27.61	994		797	497
3"	14	72.28	97.74	57.74	36.12	1,012		809	505
4"	10	102.84	137.63	82.63	51.24	1,028		826	512

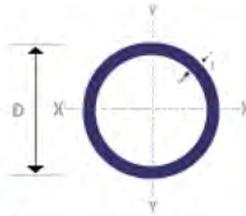


## G.2. TUBERÍA INDUSTRIAL REDONDA DE ACERO.

### ▣ Tubo Mecánico Cédula 30

<b>Tramo Comercial:</b>	6.00 m
<b>Aplicaciones:</b>	Postes, Estructuras, Andamios, Tubulares, Escaleras, Barras para cortinas metálicas, Refuerzo para redilas en camiones, Defensas (tumba burros).

Renglón	Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	Espesor de la Pared	Peso Teórico	
				Kg. / m	Kg. / 6m
01	13 mm. (1/2")	21.33 mm. (0.840")	1.7094 mm. (0.067")	0.900	5.400
02	19 mm. (3/4")	26.67 mm. (1.050")	1.7094 mm. (0.067")	1.125	6.750
03	25 mm. (1")	33.40 mm. (1.315")	1.8974 mm. (0.75")	1.500	9.000
04	32 mm. (1 1/4")	42.16 mm. (1.660")	2.2784 mm. (0.90")	2.350	14.100
05	38 mm. (1 1/2")	48.26 mm. (1.900")	2.2784 mm. (0.90")	2.700	16.200
06	51 mm. (2")	60.32 mm. (2.375")	2.6568 mm. (0.105")	3.950	23.700
07	64 mm. (2 1/2")	73.03 mm. (2.875")	2.6568 mm. (0.105")	4.800	28.800
08	76 mm. (3")	88.90 mm. (3.500")	3.0378 mm. (0.120")	6.700	40.200
09	102 mm. (4")	114.30 mm. (4.5")	3.0378 mm. (.120")	8.600	51.600



Diámetro Exterior (D)		Peso Teórico		
mm.	pulgadas	Calibre t	Kg. / m	Kg. / 6m
12.7	1/2"	18	0.380	2.280
		20	0.294	1.764
15.875	5/8"	14	0.715	4.290
		16	0.600	3.600
		18	0.488	2.928
		20	0.383	2.298
19.05	3/4"	14	0.870	5.220
		16	0.725	4.350
		18	0.593	3.558
		20	0.452	2.712
20.64	13/16"	14	0.960	5.760
		16	0.785	4.710
		18	0.625	3.750
		20	0.504	3.024
22.22	7/8"	14	1.020	6.120
		16	0.830	4.980
		18	0.683	4.098
		20	0.525	3.150
23.8	15/16"	14	1.120	6.720
		16	0.895	5.370
		18	0.735	4.410
		20	0.560	3.360
25.4	1"	14	1.170	7.020
		16	0.960	5.760
		18	0.789	4.734
		20	0.600	3.600
28.57	1 1/8"	14	1.330	7.980
		16	1.071	6.426
		18	0.880	5.280
		20	0.672	4.032
31.75	1 1/4"	14	1.510	9.120
		16	1.210	7.296
		18	0.978	5.868
		20	0.756	4.536
33.4	1.315"	14	1.575	9.450
		16	1.260	7.560
		18	1.030	6.180
		20	0.790	4.740
34.92	1 3/8"	13	1.930	11.500
		14	1.640	9.840
		16	1.330	7.980
		18	1.070	6.420
		20	0.810	4.860
38.10	1 1/2"	22	0.686	4.116
		14	1.827	10.962
		16	1.450	8.700
		18	1.190	7.140
41.3	1 5/8"	20	0.903	5.418
		14	1.980	11.880
		16	1.584	9.504
		18	1.267	7.602
42.16	1.660"	20	0.950	5.700
		14	2.050	12.300
		16	1.670	10.020
		18	1.325	7.950
44.45	1 3/4"	20	1.010	6.060
		14	2.130	12.780
		16	1.703	10.218
		18	1.396	8.376
		20	1.070	6.420



# APÉNDICE H.

## H.1. PRUEBA DE NIVEL DE RUIDO PARA LOS MOTORES FSAE UTILIZADOS.

FSAE NOISE TEST ENGINE SPEEDS

Per Section 3.5.5.3.B of the Formula SAE Rules, the noise test speed for a given engine will be the engine speed that corresponds to an average piston speed of 914.4 m/min (3,000 ft/min) for automotive or motorcycle engines, and 731.5 m/min (2,400 ft/min) for "industrial engines".... rounded to the nearest 500 rpm."

For Automotive or Motorcycle Engines						
The equation is:		Calculated Test Speed = $\frac{914.4 \times 1000}{2 \times \text{Stroke (mm)}} \text{ rpm}$				
Model	Bore x Stroke	Displ/Cyl	Cyls	Displ.	Test rpm	
					Calculated	Rounded
Honda CBR 250 RR	48.5 x 33.7 mm	62.26 ccs	4 cyl.	249 ccs	13,567	13,500
Honda CBR 260 RR	48.0 x 34.5 mm	62.43 ccs	4 cyl	250 ccs	13,252	13,500
Yamaha FZR 400	58.1 x 40.5 mm	107.37 ccs	4 cyl	430 ccs	11,269	11,500
Kawasaki EX250	62.0 x 41.2 mm	124.39 ccs	2 cyl	249 ccs	11,097	11,000
Triumph TT600 (2003)	68.0 X 41.3 mm	149.99 ccs	4 cyl	600 ccs	11,070	11,000
Triumph Daytona 600 (Speed 4)	68.0 X 41.3 mm	149.99 ccs	4 cyl	600 ccs	11,070	11,000
Honda CB-1	55.0 x 42.0 mm	99.79 ccs	4 cyl	399 ccs	10,886	11,000
Honda NC35	55.0 x 42.0 mm	99.79 ccs	4 cyl	399 ccs	10,886	11,000
Honda CBR 600 F4	67.0 x 42.5 mm	149.80 ccs	4 cyl	599 ccs	10,758	11,000
Kawasaki Ninja ZX-6R	66.0 x 43.8 mm	149.85 ccs	4 cyl	599 ccs	10,438	10,500
Yamaha 1999 YZF-600R	65.5 x 44.5 mm	149.95 ccs	4 cyl	600 ccs	10,274	10,500
Yamaha YZF-R6	65.5 x 44.5 mm	149.95 ccs	4 cyl	600 ccs	10,274	10,500
Suzuki GSXR 600	65.5 x 44.5 mm	149.95 ccs	4 cyl	600 ccs	10,274	10,500
Honda CBR 600 F2	65.0 x 45.2 mm	149.99 ccs	4 cyl	600 ccs	10,115	10,000
Honda CBR 600 F3	65.0 x 45.2 mm	149.99 ccs	4 cyl	600 ccs	10,115	10,000
Kawasaki ZX6	64.0 x 46.6 mm	149.91 ccs	4 cyl	600 ccs	9,811	10,000
Honda CBR 600 F1	63.0 x 48.0 mm	149.63 ccs	4 cyl	599 ccs	9,525	9,500
Yamaha YZF600R	62.0 x 49.6 mm	149.75 ccs	4 cyl	599 ccs	9,218	9,000
Mahle FSAE	70.9 x 51.6 mm	203.39 ccs	3 cyl	610 ccs	8,867	9,000
Honda CX500	78.0 x 52.0 mm	248.50 ccs	2 cyl	497 ccs	8,792	9,000
Kawasaki Ninja	60.0 x 52.4 mm	149.16 ccs	4 cyl	593 ccs	8,725	9,000
Yamaha FZR600	59.0 x 54.8 mm	149.80 ccs	4 cyl	599 ccs	8,343	8,500
Suzuki K6A	68.0 x 55.8 mm	202.60 ccs	3 cyl	608 ccs	8,193	8,000
Honda VT500C	71.0 x 62.0 mm	245.50 ccs	2 cyl	491 ccs	7,374	7,500
Suzuki SV650 (reduced bore)	78.5 x 62.6 mm	302.97 ccs	2 cyl	606 ccs	7,304	7,500
Yamaha WR450 (2005)	95.0 x 63.5 mm	534.07 ccs	1 cyl	534 ccs	7,200	7,000
Polaris Sportsman 600 (2000)	76.4 x 66.0 mm	302.80 ccs	2 cyl	606 ccs	6,927	7,000
Yamaha YZF450	100.0 x 68.0 mm	534.07 ccs	1 cyl	534 ccs	6,724	6,500
Honda TRX 400EX	85.0 x 70.0 mm	397.22 ccs	1 cyl	397 ccs	6,531	6,500
Husaberg 500 cc	95.0 x 70.7 mm	501.10 ccs	1 cyl	501 ccs	6,467	6,500
KTM Duke LC-4 620	101.0 x 76.0 mm	608.90 ccs	1 cyl	609 ccs	6,016	6,000
KTM 450	97.0 x 77.9 mm	575.67 ccs	1 cyl	576 ccs	5,869	6,000
Honda NX650XR600	97.0 x 82.0 mm	605.90 ccs	1 cyl	606 ccs	5,576	5,500

For "Industrial" Engines						
The equation is:		Calculated Test Speed = $\frac{731.5 \times 1000}{2 \times \text{Stroke (mm)}} \text{ rpm}$				
Briggs & Stratton Vanguard	75.4 x 66.0 mm	295.19 ccs	2 cyl	590 ccs	5,538	5,500

The test speed for other engines will be calculated per the above equations.

MJR, Last Revised 10-10-06



# APÉNDICE I.

## I.1. HOJA DE INSPECCIÓN TÉCNICA DEL FÓRMULA SAE.

### 2012 FSAE INSPECTION SHEET

CAR NUMBER:	TRANSPONDER NUMBER:
SCHOOL:	
SEF SUBMITTED? YES/NO	
ENGINE MODEL:	NUMBER OF DRIVERS:
ENGINE BORE X STROKE:	
ABS? YES/NO	
TALLEST DRIVER:	
HEIGHT:	

### IMPORTANT

THIS FORM MUST STAY WITH THE CAR UNTIL THAT SPECIFIC PART OF INSPECTION HAS BEEN COMPLETED

PRESENT THE VEHICLE FOR INSPECTION IN THE FOLLOWING ORDER:

1. TECHNICAL INSPECTION
2. FUELING & TILT TABLE INSPECTION
3. NOISE LEVEL & BRAKING PERFORMANCE INSPECTION

**NOTE - IF THERE IS A CONFLICT BETWEEN THIS FORM AND THE RULES, THE RULES PREVAIL**

PART 1									
TECHNICAL INSPECTION									
TYRES & WHEELS									
<table border="1"> <tr> <td>DRY TIRES - Make:</td> <td>RAIN TIRES - Make:</td> </tr> <tr> <td>Size:</td> <td>Size:</td> </tr> <tr> <td>Compound:</td> <td>Compound:</td> </tr> </table>	DRY TIRES - Make:	RAIN TIRES - Make:	Size:	Size:	Compound:	Compound:	<table border="1"> <tr> <td>WHEELS - Four wheels not in a line, 20.32 cm (8.0 in) min. diam. Wheels with single wheel nut must have positive</td> <td>RAIN TIRES - 3/32 in. min. tread depth moulded by tire manufacturer.</td> </tr> </table>	WHEELS - Four wheels not in a line, 20.32 cm (8.0 in) min. diam. Wheels with single wheel nut must have positive	RAIN TIRES - 3/32 in. min. tread depth moulded by tire manufacturer.
DRY TIRES - Make:	RAIN TIRES - Make:								
Size:	Size:								
Compound:	Compound:								
WHEELS - Four wheels not in a line, 20.32 cm (8.0 in) min. diam. Wheels with single wheel nut must have positive	RAIN TIRES - 3/32 in. min. tread depth moulded by tire manufacturer.								
DRIVER'S EQUIPMENT									
<table border="1"> <tr> <td>HELMETS - Snell M2000, SA2000, M2005, K2005, SA2005, BS 6658-85 Type A or A/FR (not Type B). SFI 31.2A, SFI 31.1/2005, FIA 8860-2004. Closed Face, no Open Face</td> <td>DRIVERS' SUITS - FIA 1986 or 2000 Standard, or SFI 3-2A/1 minimum rating, and LABELED AS SUCH.</td> </tr> <tr> <td>GOGGLES / FACE SHIELDS - made of impact resistant material.</td> <td>GLOVES / SHOES - Fire resistant material. No holes. No all-leather gloves.</td> </tr> <tr> <td>ARM RESTRAINTS - Must be installed so the driver can release them and exit unassisted regardless of vehicle's</td> <td>FIRE EXTINGUISHERS - Two (2) hand-held, 0.9 kg (2 lb.) minimum, dry chemical (10BC, 1A10BC, 34B, 5A 34B, 20BE or 1A 10BE), or 1.75litres AFFF, extinguishers; 1 WITH CAR, 1 in paddock. (Must see BOTH at Tech.) On-board fire system encouraged as alternative to hand-held that moves with car. On-board hand-held extinguisher NOT ALLOWED. Halon extinguishers no longer</td> </tr> <tr> <td>HAIR COVER - Long hair, mustaches or beards require Nomex balaclava or full helmet skirt. No hair to protrude from beneath helmet.</td> <td></td> </tr> </table>	HELMETS - Snell M2000, SA2000, M2005, K2005, SA2005, BS 6658-85 Type A or A/FR (not Type B). SFI 31.2A, SFI 31.1/2005, FIA 8860-2004. Closed Face, no Open Face	DRIVERS' SUITS - FIA 1986 or 2000 Standard, or SFI 3-2A/1 minimum rating, and LABELED AS SUCH.	GOGGLES / FACE SHIELDS - made of impact resistant material.	GLOVES / SHOES - Fire resistant material. No holes. No all-leather gloves.	ARM RESTRAINTS - Must be installed so the driver can release them and exit unassisted regardless of vehicle's	FIRE EXTINGUISHERS - Two (2) hand-held, 0.9 kg (2 lb.) minimum, dry chemical (10BC, 1A10BC, 34B, 5A 34B, 20BE or 1A 10BE), or 1.75litres AFFF, extinguishers; 1 WITH CAR, 1 in paddock. (Must see BOTH at Tech.) On-board fire system encouraged as alternative to hand-held that moves with car. On-board hand-held extinguisher NOT ALLOWED. Halon extinguishers no longer	HAIR COVER - Long hair, mustaches or beards require Nomex balaclava or full helmet skirt. No hair to protrude from beneath helmet.		
HELMETS - Snell M2000, SA2000, M2005, K2005, SA2005, BS 6658-85 Type A or A/FR (not Type B). SFI 31.2A, SFI 31.1/2005, FIA 8860-2004. Closed Face, no Open Face	DRIVERS' SUITS - FIA 1986 or 2000 Standard, or SFI 3-2A/1 minimum rating, and LABELED AS SUCH.								
GOGGLES / FACE SHIELDS - made of impact resistant material.	GLOVES / SHOES - Fire resistant material. No holes. No all-leather gloves.								
ARM RESTRAINTS - Must be installed so the driver can release them and exit unassisted regardless of vehicle's	FIRE EXTINGUISHERS - Two (2) hand-held, 0.9 kg (2 lb.) minimum, dry chemical (10BC, 1A10BC, 34B, 5A 34B, 20BE or 1A 10BE), or 1.75litres AFFF, extinguishers; 1 WITH CAR, 1 in paddock. (Must see BOTH at Tech.) On-board fire system encouraged as alternative to hand-held that moves with car. On-board hand-held extinguisher NOT ALLOWED. Halon extinguishers no longer								
HAIR COVER - Long hair, mustaches or beards require Nomex balaclava or full helmet skirt. No hair to protrude from beneath helmet.									



CAR NUMBER:		SCHOOL:	
PART 1, contd.		Page 2	
TECHNICAL INSPECTION (Cont'd)			
<b>PRIMARY STRUCTURE</b>			
ALTERNATIVE TUBING & MATERIALS - If used, team must show an <b>APPROVED</b> Structural Equivalency Form.		OTHER SIDE TUBES - Design prevents driver's neck hitting bracing or other side tubes	
INSPECTION HOLES - 0.18" (4.5 mm) inspection holes req'd in non-critical areas of front & main hoops. Inspectors may ask for holes in other tube(s).		SIDE IMPACT PROTECTION - Min. of two (2) tubes + diagonal must connect the main and front hoops. Upper tube must be between 300 mm and 350 mm (11.8" and 13.8") above the ground. Lower tube can be lower frame member. At least one diagonal per side must connect the upper and lower members between the main and front hoops. All tubes to be 1.0" OD x 0.065" wall or 25.0 mm OD x 1.75 mm wall steel or equivalent. Monocoques require signed SEF.	
MAIN HOOP - <b>MUST BE STEEL</b> . 1.00" OD x 0.095" wall or 25.0 mm OD x 2.5 mm wall. Must be 1 piece & extend to lowest frame member. 380 mm (15 ins) apart (inside dim.) where attaches to the Major Structure. Above Major Structure, must be within 10 deg. of vertical. Smooth bends with no		FRONT BULKHEAD - 1.0" OD x 0.065" wall, or 25.0 mm x 1.75 mm wall, steel tube or equiv. No non-crushable objects forward of bulkhead.	
MAIN HOOP BRACING - <b>MUST BE STEEL</b> . One brace each side, 1.00" x 0.065" or 25.0 mm x 1.75 mm min., attached within 16 cm (6.3 in.) of top. Min. 30 deg. included angle with hoop. If main hoop is not vertical, bracing must not be on same side of vertical as main hoop. No bends. No rod-ends. Proper construction for removable braces (capping etc.) on <b>BOTH ENDS</b> . Must attach to Major Structure of the Frame directly or thru' proper triangulation.		FRONT BULKHEAD SUPPORT - Support back to front roll hoop; 3 tubes, all 1.00" OD x 0.049" wall steel tube or equiv.. 1 bottom, 1 top within 50 mm (2") of top of bulkhead, 1 node-to-node diagonal (must form a triangle with FBH and either top or bottom tube). (25.0 mm x 1.5 mm and 26.0 mm x 1.2 mm metric tubes OK)	
FRONT HOOP- Must be closed section metal tube. 1.00" OD x 0.095" wall or 25.0 mm OD x 2.5 mm wall steel, or equiv. Can be multi-piece. Must extend down to lowest frame member. Max. 20 deg. to vertical. No lower than top of steering wheel. Max. 25 cms (10 ins) horizontal distance to steering wheel.		IMPACT ATTENUATOR - Need Impact Attenuator forward of bulkhead, 150 mm (5.9") long x 200 mm (7.8") wide x 100 mm (3.9") high. IA must be securely fastened directly to the bulkhead and capable of taking transverse and vertical loads. No tape, etc.	
FRONT HOOP BRACING - Two forward facing braces, 1.00" OD x 0.065" or 25.0 mm OD x 1.75 mm steel or equivalent, attached within 5 cm. (2 ins) of top. Extra rearward bracing required if Front Hoop leans backwards more than 10 deg.		SEAT - Lowest point no lower than bottom of side rails OR must have longitudinal 1.00" OD x 0.065" steel tube underneath.	
MAIN HOOP & FRONT HOOP HEIGHTS- Helmet of 95th percentile male (PERCY) to be 50 mm (2.0 ins) below line between top of front and main roll hoops.			
<b>STEERING, SUSPENSION, BRAKES</b>			
GROUND CLEARANCE - Sufficient to prevent any part of the car from touching ground during track events. 25 mm (1		STEERING - On at least two wheels with positive stops to prevent linkage lock up or tires contacting any part of the car. 7 degrees max. freeplay at the steering wheel. NO STEER-BY-WIRE on front wheels. Rear steer limited to + or - 3 deg. with mechanical stops.	
SUSPENSION - Fully operational with dampers front and rear; 50mm (2.0 in) minimum wheel travel with driver in		FASTENERS - Steering, braking, harness and suspension systems must use SAE Grade 5 or Metric Grade M8.8 or higher specs (AN/MS) with visible positive locking mechanisms, no Loctite or lock washers. <b>Minimum of 2 exposed threads</b> . Rod ends in single shear must be captured by a washer larger than the ball diameter. Adjustable rod ends must have jam nuts to prevent loosening.	
SUSPENSION PICK-UP POINTS - Inspected thoroughly for integrity.			
BRAKES - Dual hydraulic system & reservoirs, operating on all four wheels, (one brake on limited slip is OK). System must be protected by structure or shields from d/train failure or minor collisions. No plastic brake lines. No brake-by-wire.			
STEERING WHEEL - Continuous perimeter, near round with driver operable quick disconnect. 25 cm (9.8 ins) max. from Front Hoop.			



CAR NUMBER:		SCHOOL:	
PART 1, contd.		Page 3	
TECHNICAL INSPECTION (Cont'd)			
<b>INTERIOR</b>			
DRIVER RESTRAINT HARNESS - 5, 6 or 7 point with single metal quick release to SFI/16.1 or FIA specs <b>and be labeled.</b> Lap belt 76 mm (3in.) wide. Shoulder belts 76 mm (3 in.) wide; 50 mm (2") wide OK with HANS. 50 mm (2 in.) anti-sub strap(s). All attached securely to primary structure - 1.00" OD x 0.065" steel tube min. FIA 50 mm (2 in.) lap belts OK, SFI	DRIVER'S LEG PROTECTION - Covers inside cockpit over sharp parts or moving suspension and steering	MAIN HOOP & FRONT HOOP HEIGHTS - Helmet of tallest driver to be 50 mm (2.0 ins) below line between top of front and main roll hoops.	HEAD RESTRAINT - 38.1 mm (1.5 in) thick, 232 sq.cm. (36 sq.ins), energy absorbing padding. Max. 25.4 mm (1.0") from helmet. Near vertical. Must take 890 N (200
LAP BELT MOUNTING - Must pass over pelvic area at between 45 deg. and 65 deg. to horizontal. <b>Pivoting mounting with eye bolts or shoulder bolts attached securely to Primary Structure - 1.00" OD x 0.065" steel tube</b>	ROLL BAR PADDING - Rollbar or bracing that could be hit by driver's helmet must be covered with 12.7 mm (0.5 in) thick, energy absorbing padding. Pipe insulation not	VISIBILITY - Minimum of 100 deg. field either side. Head rotation allowed or mirrors. If mirrors, must be firmly installed and adjusted.	VEHICLE CONTROLS - All controls, including shifter, must be inside cockpit. No hands, arms or elbows outside side impact system to actuate.
SHOULDER HARNESS MOUNTING - Mounting points 7"- 9" (178 - 229 mm) apart. Angle from shoulder between 10 deg. up and 20 deg. down to horizontal. Attach to Primary Structure - 1.00"OD x 0.065" steel tube min. Not to put bending loads into Main Hoop Bracing W/O extra bracing.	DRIVER'S FOOT PROTECTION - Feet must be rearward of the Front Bulkhead and no part of shoes above or outside the Major Structure in side or front views.	EGRESS - 5 seconds max. to exit to side of vehicle from fully seated position with all safety equipment; wings must remain fixed in position.	
FIREWALL - Fire resistant material; must separate driver compartment from fuel supply, cooling & oil systems. Pass-throughs OK with grommets. Multiple panels OK but gaps should be sealed. Must protect (line-of-sight up to mid-height of driver's helmet) from cooling, oil and fuel systems.			
FLOOR CLOSEOUT PANEL - Required from foot area to firewall; solid, non-brittle material; multiple panels are OK if gaps less than 3.18 mm (1/8 in).			
<b>ENGINE COMPARTMENT</b>			
ENGINE - Four cycle piston engine, 610 cc maximum swept displacement. No hybrids.	EXHAUST OUTLET - Outlet no more than 60 cm (23.6") behind rear axle centerline and no more than 60 cm (23.6") above the ground.	EXHAUST SHIELDING - Exhaust components outside the body forward of main hoop must be shielded from people approaching the car.	SCATTERSHIELDS GENERAL - Required for clutches, chains, belts, etc. No holes. 6mm diam M8.8 or 1/4" diam Grade 5 fasteners minimum.
COMPRESSORS - Turbo or super chargers allowed if not OEM to engine; must be between restrictor and engine.	SCATTERSHIELD MATERIALS-For chains, 2.7mm (0.105") min. thick STEEL, 3 x chain width. For belts, 3mm (0.120") min. thick aluminum 6061-T6, 1.7 x belt	CATCH TANKS - Any coolant overflow, crankcase breather or lube system vents must have separate catch tanks. One quart minimum each. PCV allowed if routed to the intake system upstream of the restrictor.	COOLANT - Only water or water with 1.5% corrosion inhibitor; no glycol or water pump lubricants added.
AIR INTAKE SYSTEM ROLL OVER PROTECTION - All parts of the engine air and fuel control systems, (including throttle body or carburetor, air intake ducting, air cleaner & air box), must lie within a surface defined by the top of the roll bar and the outside top edge of the tires.	THROTTLE PEDAL - Must have positive stop to prevent overstressing cable.	GAS CYLINDERS - Proprietary manufacture & labeled, nonflammable gas, regulator on tank, securely mounted within the Major Structure, axis not pointed at driver, insulated from exhaust, appropriate lines & fittings.	HIGH PRESSURE HYDRAULICS - Pumps and lines must have 1 mm thick steel or aluminum shields to protect driver and workers.
AIR INTAKE SYSTEM - Any portion less than 350 mm (13.8") above ground must have Side Impact protection to Rule	THROTTLE - Cable must be at least 50.8 mm (2 in) from any exhaust component and out of exhaust stream; must have smooth operation with no possibility of binding or sticking; must have minimum of 2 springs, each capable of closing the throttle independently; push-pull cable recommended but optional. TPS not acceptable as a return spring.	ON-BOARD STARTER - Required.	FLUID LEAKS - Oil, coolant, fuel - none permitted.
ELECTRONIC THROTTLE CONTROLS - ETC or "drive-by-wire" NOT permitted.	RESTRICTOR - Must be circular; max. diam. 20.0 mm (0.7874 in) for gasoline fueled cars and 19.0 mm (0.7480 in) for E85 fueled cars. Cannot be movable.		
INTAKE MANIFOLD - Securely attached to block or head with brackets & mechanical fasteners. OEM type rubber bushings not sufficient.	FUEL RAIL - Securely attached to block, head or int. manifold with brackets & mechanical fasteners.		





**2012 FSAE INSPECTION SHEET**

CAR NUMBER:
SCHOOL:
SEF SUBMITTED? YES/NO
ENGINE MODEL:
ENGINE BORE X STROKE:
ABS? YES/NO

**IMPORTANT**

THIS FORM MUST STAY WITH THE CAR UNTIL THESE PARTS OF INSPECTION HAVE BEEN COMPLETED

<b>PART 2</b>	
<b>FUEL SYSTEM &amp; TILT TABLE INSPECTION</b>	
FUEL SPILLAGE - No fuel spill permitted when car is tilted to 45 degrees in the direction most likely to create spillage; Tanks must be filled to scribe line	VEHICLE STABILITY - All wheels in contact with tilt table when tilted to 60 degrees to the horizontal.
FUEL STICKER - Fuel sticker in place adjacent to F/T filler. MARK TYPE OF FUEL USED (e.g. 93, 100 or E-85) ON THIS	FUEL TYPE
NON-COMPLIANCE / COMMENTS:	
APPROVED BY:	DATE:

<b>PART 3</b>	
<b>NOISE LEVEL &amp; BRAKING PERFORMANCE INSPECTION</b>	
NOISE LEVEL - 110 dB (A) ("A" scale) maximum during a static test, gearbox in neutral, engine at specified rpm (see Rule 3.5.5.3.A). Microphone level with the exhaust outlet(s), 0.5 m (19.7") from the outlet(s), at 45 degrees to the outlet. If multiple outlets, all to be checked.	BRAKING PERFORMANCE - Must lock-up all four wheels on dry asphalt at any speed. If adjustments are made to the vehicle after three failed attempts before retest, the car may run on the Practice Track without the final Brake Performance Tech Sticker.
MASTER SWITCH - Master switch on RHS of main roll hoop must cause engine to stop when actuated. (Perform at end of noise test)	
NOISE LEVEL:	ATTEMPTS:
NON-COMPLIANCE / COMMENTS:	
APPROVED BY:	DATE:



---

## GLOSARIO.

### Abreviaturas Empleadas.

**Autom.** Automovilismo.

**Mec.** Mecánica.

**Tecn.** Tecnología.

- **Almenado (Embrague):** *Autom.* Corona dentada en la que encaja o ensamblan perfectamente los discos conductores con un diámetro y número determinado de almenados tallados.
- **Árbol de Transmisión (Cardán):** *Mec.* Articulación que permite transmitir la rotación de un árbol a otro árbol, cuya posición respecto al primero es variable. El acoplamiento o junta de cardán constituye dos árboles, cuyos ejes convergen en un punto, se hallan terminados por una horquilla. Las dos horquillas se articulan en una misma cruceta, gracias a la cual el movimiento de un árbol se transmite al otro, aunque ambos formen un ángulo y aunque este ángulo experimente variaciones durante el funcionamiento.
- **Armazón:** Estructura sobre la cual se montan los distintos elementos de un conjunto, una máquina, etc. La carrocería, las ruedas y el motor de un automóvil, se hallan fijados en un armazón llamado bastidor.
- **AR:** Siglas en inglés Augmented Reality. Realidad Aumentada.
- **Autoblocante (Diferencial):** *Mec.* Estos diferenciales se suelen montar en vehículos de tracción trasera y de gran potencia, ya que son susceptibles de perder adherencia durante aceleraciones fuertes en una de las ruedas, siendo necesario el enclavamiento de este a determinado valor, para evitar un deslizamiento excesivo que generaría un sobreviraje. Mediante la adopción de este sistema, se mejora la transmisión de esfuerzo, a la vez que evita un patinaje continuo de la rueda con menos adherencia y sus consecuencias para la estabilidad.
- **Bastidor:** *Autom.* Armazón que soporta la carrocería del automóvil y en el cual se fija el motor. *Mec.* Estructura metálica, rígida y resistente, que sirve de apoyo y asiento a los distintos órganos de una máquina.



- 
- **CAD:** Siglas en inglés Computer Aided Design. Diseño Asistido por Computadora.
  - **CAE:** Siglas en inglés Computer Aided Engineering. Ingeniería Asistida por Computadora.
  - **Caja de Cambios: Autom.** Sistema de engranajes, interpuesto entre el motor y las ruedas motrices de un automóvil, con objeto de adaptar la fuerza de tracción a la pendiente de la calzada y que también permite invertir el movimiento (marcha atrás).
  - **Camber:** Ladeo o inclinación de los neumáticos, alrededor del eje horizontal perpendicular a la dirección de rotación.
  - **CFD:** Siglas en inglés Computer Fluids Dynamics. Estudio de Dinámica de Fluidos por Computadora.
  - **Chasis: Autom.** Vehículo automóvil en estado de funcionar, pero desprovisto de carrocería. **Mec.** Bastidor.
  - **Damper: Mec.** Amortiguador pequeño que se dispone en el extremo de una cámara, con el objeto de anular las vibraciones de torsión y reducir progresivamente los efectos de las oscilaciones periódicas y, que sirve para atenuar la fuerza de choque del sistema de suspensión y de las irregularidades del camino a través de los neumáticos.
  - **Diferencial: Autom.** Mecanismo que transmite a las ruedas el movimiento del árbol motor por medio de un sistema de engranajes tal que, en las curvas, la rueda exterior, que ha de recorrer un arco más largo, pueda girar con mayor rapidez que la rueda interior.
  - **Dirección: Autom.** Conjunto de mecanismos que, accionados con el volante, permiten orientar las ruedas directrices (generalmente delanteras) de los automóviles. La dirección consta generalmente de un volante que, por intermedio de un árbol o columna de dirección, mueve un engranaje destinado a la vez a desmultiplicar el movimiento (reducir el esfuerzo del conductor) y a obtener la irreversibilidad (impedir que las fuerzas de resistencia que obran sobre la rueda, puedan hacer girar al volante) del vehículo.
  - **DOF:** Siglas en inglés Degree of Freedom. Grados de Libertad.
  - **DOHC:** En inglés Double Over Head Camshaft, significa que el motor tiene dos ejes de levas encima de la culata. Este es un mecanismo con 2 ejes de levas, uno usado exclusivamente para las válvulas de admisión y el otro usado para las válvulas de escape, los cuales abren y cierran las válvulas directamente.



- 
- **Droop (Wheel):** Desplazamiento Negativo del Neumático en el Sistema de Suspensión.
  - **Elasticidad (Motor):** La capacidad de acondicionamiento de éste a los cambios de carga.
  - **Embrague:** Dispositivo que se intercala entre dos árboles, con objeto de que uno de ellos pueda transmitir su movimiento de rotación al otro y cuyo acoplamiento puede ser interrumpido cuando se desea modificar el movimiento del segundo sin obligar a cambiar la velocidad del primero.
  - **Engrane Bihelicoidal: Mec.** Engranaje dispuesto mediante un par de engranes helicoidales.
  - **Estereoscopia:** La Estereoscopia también llamada Visión en Tres Dimensiones o Visión en Relieve, es el resultado de la capacidad del sistema visual de poder interpretar un aspecto tridimensional a los objetos, a partir de las imágenes en dos dimensiones obtenidas en cada una de las retinas de los ojos.
  - **Estructura: Tecn.** Armazón de madera, metal, plástico u otra materia que constituye el esqueleto de una construcción.
  - **FEA:** Siglas en inglés Finite Element Analysis. Análisis de Elemento Finito.
  - **Freno:** Dispositivo para moderar o detener el movimiento de una máquina, de un vehículo o móvil cualquiera.
  - **Helicoidal (Engrane): Mec.** Engranaje Helicoidal. Movimiento helicoidal, el de un tornillo o de cualquier otro sólido, cuyos puntos describen una hélice.
  - **HMD:** Siglas en inglés Head Mounted Display. Pantalla electrónica montada sobre la cabeza.
  - **Horquilla:** Pieza terminada en dos ramas o dientes, que actúa como elemento u órgano intermedio en la realización del movimiento de un mecanismo.
  - **Inmersión:** Es el estado del conocimiento, donde la conciencia física de un participante inmerso en un ambiente virtual, disminuye o se pierde por estar rodeado de un entorno totalmente fascinante, a menudo artificial.
  - **Jounce (Wheel):** Desplazamiento Positivo del Neumático en el Sistema de Suspensión.
  - **Junta: Mec.** Dispositivo para transmitir el movimiento de un árbol motor a un árbol movido, cuando ambos forman un ángulo.



- 
- **Junta Articulada: Mec.** Enlace de dos piezas, de tal forma que puedan existir movimientos angulares de una de ellas respecto a la otra.
  - **Junta Homocinética: Mec.** Dispositivo de acoplamiento que conecta y desconecta instantáneamente el árbol movido del árbol motor.
  - **MR:** Siglas en ingles Mixed Reality. Realidad Mezclada.
  - **Navegador de Modelos:** Puede ser entendido, como la cámara de un personaje vista en primer plano, la cual puede moverse libremente en el mundo virtual tridimensional. Este personaje puede avanzar, retroceder y frenar, así como girar la cabeza en cualquier dirección.
  - **OHC:** En inglés Over Head Camshaft, significa lo mismo que el tipo SOHC, es decir que el motor tiene un solo eje de levas encima de la culata.
  - **OHV:** En inglés Over Head Valve, significa que el motor tiene las válvulas encima de la culata (en la parte superior). Este es un mecanismo con un eje de levas el cual está ubicado en el costado de los cilindros. Los movimientos de esta leva actúan vía varillas de empuje, brazos de balancín u otros mecanismos que abren y cierran las válvulas de admisión y escape ubicadas en la parte superior de la cámara de combustión o culata.
  - **Palieres o Semiejes de Transmisión: Autom.** Órgano mecánico en los vehículos automóviles, en el que se apoya el árbol de transmisión y que le sirve también de guía. **Mec.** Cojinete.
  - **Par (Motor):** Trabajo instantáneo que puede efectuar un motor y que indica la magnitud del esfuerzo que produce.
  - **Parallax:** Es la distancia horizontal entre un objeto, en el cual, una parte de dicho objeto o imagen, se muestra en cada uno de los respectivos ojos derecho e izquierda.
  - **Potencia:** Fuerza o conjunto de fuerzas capaces de producir trabajo u otros efectos.
  - **Ralentí: Mec.** La menor velocidad a la que puede funcionar un motor de explosión, con el mínimo de gases de combustión.
  - **Rally:** Palabra inglesa. Competición deportiva en la cual los participantes, a pie o motorizados, deben reunirse en un sitio determinado después de realizar varias pruebas.



- 
- **Realidad Virtual:** Es un medio que está compuesto de simulaciones interactivas por medio de una computadora u ordenador, que sensibilizan la posición y acciones de un participante (individuo), generando la sensación de que éste se encuentra inmerso o presente en la simulación (mundo virtual).
  - **Rocker (Balancín): Mec.** Elemento Mecánico del Sistema de Suspensión. **Autom.** Pieza, elemento o barra dotada de un movimiento oscilatorio, que regula generalmente el movimiento del recorrido de los brazos del sistema de suspensión, es decir, la amplitud generada por el movimiento de los neumáticos, acoplado con el de los amortiguadores, a través de éste.
  - **SLA (Short-Long Arm):** Tipo de Suspensión usada en vehículos de carreras, donde la longitud del largo de los brazos, es diferente de la parte superior e inferior del sistema.
  - **SOHC:** En inglés Single Over Head Camshaft, significa que el motor tiene un solo eje de levas encima de la culata. Este es un mecanismo con un eje de levas el cual está ubicado sobre la culata de cilindros. Los movimientos de esta leva actúan vía brazos de balancín para mover las válvulas.
  - **Suspensión: Mec.** Conjunto de órganos mecánicos de un vehículo, interpuestos entre el bastidor y las ruedas, y dotados de la necesaria elasticidad para que, con todo y transmitir el peso de aquél a éstas, amortigüe los choques debidos a las irregularidades del suelo.
  - **Tracking System:** Término en inglés denominado Sistema de Rastreo. Es un medio o sistema de operación utilizado en la simulación e interacción de imágenes tridimensionales, basado en un sistema coordinado y que requiere de un control (joystick) de mando, el cual, tiene como función la manipulación estereoscópica de objetos y geometrías en 3D dentro de un ambiente virtual y mediante el procesamiento visual de información.
  - **Transmisión: Autom.** Conjunto formado por todos los órganos que contribuyen a transmitir el movimiento del motor a las ruedas motrices. Los órganos de la transmisión se suceden como sigue: embrague, caja de velocidades, árbol de transmisión o cardán, sistema de par (diferencial) y los ejes de transmisión.
  - **Visor o Visualizador de Modelos:** Puede ser entendido, como una cámara virtual suspendida dentro del entorno gráfico, que puede moverse a una posición arbitraria dentro de la escena 3D.
  - **VR:** Siglas en inglés Virtual Reality. Realidad Virtual.
  - **VRML:** Siglas en inglés Virtual Reality Modeling Language.
  - **Wheelbase:** Distancia entre los centros (ejes) de los neumáticos delanteros y traseros del vehículo.