ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño, Construcción y Pruebas de un Vehículo Híbrido (Energía Solar – Energía Humana)"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Diego Andrés Siguenza Alvarado

Santiago Isrrael Márquez Vásquez

GUAYAQUIL - ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

A los miembros del equipo “INTI-INVICTUS”, el capitán y director de esta tesis M.Sc. Marco Pazmiño, Ing. Rubén Hidalgo, Sr. Javier Urquizo Guevara, Ing. Pablo Jácome, Ing. Carlos Flor, Sr. Juan de Dios Rodríguez, Msc. Carola Sánchez, Ing. Inés Loor y Srta. Karla Caicedo, porque sin su aportación técnica, colaboración, apoyo, amistad y sobre todo la fuerza de voluntad en cada uno de ellos sin importarles recibir algo a cambio, solo que la ESPOL, continúe cosechando éxitos a nivel latinoamericano y mundial.

Al Dr. Moisés Tacle, por que sin su apoyo no hubiera sido posible realizar este gran acontecimiento.

DEDICATORIA

A Dios, que me ha dado la fortaleza de superar mis retos, a la memoria de mi padre Luis Efrén (+), quien en vida fue el ejemplo de hombre a seguir, al amor y sacrificio de mi madre Mercedes del Pilar, que pese a las dificultades de la vida, supo sacar adelante a su familia, a la compañía incondicional de mis hermanos Luis Raúl y Andrea del Pilar, al apoyo de mis abuelitos: Pepe, Miche, Blanca (+) y Luis (+), y al apoyo de toda mi familia y amigos.

Diego Andrés Siguenza Alvarado

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres.

A mis hermanos.

A mi sobrino.

Por su apoyo incondicional, y de gran ayuda para mi, en la realización de este trabajo.

Santiago Isrrael Márquez Vásquez

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Marco Pazmiño B.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marcelo Espinosa L.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

Diego Andrés Siguenza Alvarado

_____

Santiago Isrrael Márquez Vásquez

RESUMEN

En el presente trabajo, se diseñó e implementó un prototipo de vehículo híbrido, que aprovecha la energía solar y humana, para generar su propio movimiento, el mismo que participó en la Primera Competencia Latinoamericana de Vehículos Solares Fotovoltaicos denominada “La Ruta Solar” que se realizó en Chile en los meses de Septiembre y Octubre del 2011.

El vehículo solar, está diseñado para las condiciones de radiación solar del desierto de Atacama, en base a las reglas de la competencia, aplicando conocimientos mecánicos, eléctricos y electrónicos. De las reglas, las principales restricciones en el diseño del vehículo, tienen que estar de acuerdo a las dimensiones máximas del vehículo, la distribución de las fuentes de energía, las condiciones de seguridad, peso del piloto, etc.

Se realizó el diseñó la estructura del chasis-carrocería, los sistemas mecánicos de dirección, suspensión, frenos, transmisión, el diseño mecánico se desarrolló con el software SolidWorks; se obtuvo los planos de

construcción, así como también, las simulaciones de deformaciones en la estructura y fuerzas aerodinámicas presentes en el vehículo.
Se realizó la estimación de la energía solar disponible en el lugar y fecha de la competencia y se diseñó el sistema eléctrico y se dimensionó cada uno de sus componentes, con el apoyo del equipo Inti-Invictus.

La construcción del prototipo incluyó procesos de corte, soldadura, mecanización, y ensamble, realizados en las instalaciones de la FIMCP, como el Laboratorio de Fuentes Renovables de Energía ESPOL (Lab. FREE), el Laboratorio de Soldadura del LEMAT y en el Campo Avanzado de Mecanización de Prototipos (CAMPRO).

Las pruebas de clasificación realizadas al vehículo son de tipo estáticas y dinámicas, en las cuales se verifica el cumplimiento de las normas establecidas por los organizadores, como son la seguridad del piloto, maniobrabilidad, velocidad, distancia de frenado, frenado en pendiente, etc. Estas pruebas se realizaron en el campus “Gustavo Galindo” de la ESPOL, y las pruebas oficiales tuvieron lugar en el club de campo “Las Vizcachas” en Santiago de Chile.

En cuanto al desempeño del vehículo en la competencia, este recorrió 200Km por el desierto de Atacama, a través de las ciudades de Iquique, Antofagasta y Calama, durante tres días de ardua competencia, soportando el ambiente hostil del desierto, se logró el noveno lugar, obteniendo de esta manera una participación destacada.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN…….....II

ÍNDICE GERERAL……...……V

ABREVIAURAS…….....IX

SIMBOLOGÍA…….……X

ÍNDICE DE FIGURAS…….…….....XI

ÍNDICE DE TABLAS……...XV

ÍNDICE DE PLANOS…….....XVI

INTROCUCCIÓN……..1

CAPÍTULO 1

1. CONSIDERACIONES GENERALES…….……4

1.1 Identificación del Problema…….4

1.2 Metodología y Planificación del Diseño……..…8

1.3 Competencia “La Ruta Solar”……..…...…14

1.4 Especificaciones del Diseño……..…15

CAPÍTULO 2

2. MODELADO DEL VEHÍCULO SOLAR..……..…26

2.1 Propósito del Modelado……26

2.2 Cargas Aerodinámicas……..……....27

2.3 Resistencia a la Rodadura…….....37

2.4 Balance de Fuerzas……...…..42

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL VEHÍCULO SOLAR……..52

3.1 Fundamentos……...52

3.2 Selección de Materiales……....64

3.3 Cargas Aplicadas……....68

3.4 Diseño del Chasis…….……..74

3.5 Diseño de la Carrocería……....83

CAPÍTULO 4

4. SISTEMAS MECÁNICOS DEL VEHÍCULO SOLAR..……..……...…..95

4.1 Sistema de Dirección…….……..…96

4.2 Sistema de Suspensión……..……....111

4.3 Sistema de Frenos……..……...…....137

4.4 Sistema de Transmisión de Energía Humana……..…151

CAPÍTULO 5

5. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR……..157

5.1 Fundamentos……..……..157

5.2 Geometría y Posición del Sol…….....165

5.3 Descripción de la Zona de la Competencia “La Ruta Solar”.....170

5.4 Estimación de la Energía Solar Disponible……..……...174

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES……..….184

6.1 Celdas Fotovoltaicas……..….184

6.2 Regulación de la Energía Solar…….....196

6.3 Baterías……..…201

6.4 Motor……..…208

6.5 Distribución de la Energía…….....219

6.6 Sistema de Control…….....222

CAPÍTULO 7

7. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL VEHÍCULO SOLAR…….....….226

7.1 Componentes Mecánicos y Eléctricos…….……233

7.2 Ensamblaje de Componentes Mecánicos y Eléctricos……..….262

7.3 Pruebas Estáticas…….....265

7.4 Pruebas Dinámicas…….……271

CAPÍTULO 8

8. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…….275

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

FRT	Fuerzas de Resistencia Total
FT	Fuerza de Tracción
N-M-H	Níquel Metal Hidruro
NiCd	Níquel Cadmio
MPP	Punto Máximo de Potencia
MEF	Método de Elementos Finitos
rpm	Revoluciones por Minuto
RR	Resistencia a la Rodadura
TIG	Proceso de Soldadura con Tungsteno y Protección Gas

SIMBOLOGÍA

a	Aceleración
A	Amperio
Ah	Amperio Hora
C_a	Coeficiente de Arrastre Aerodinámico
C_l	Coeficiente de Levantamiento Aerodinámico
C_{rr}	Coeficiente de Resistencia a la Rodadura
CG	Centro de Gravedad del Vehículo
d	Desaceleración
D	Matriz del Material
DC	Corriente Directa
E	Módulo Elástico
e^-	Electrón
f	Vector de Fuerzas de Cuerpo
G	Módulo de Corte
h_{CG}	Altura del Centro de Gravedad desde el Suelo
J	Joule
k	Rigidez del Resorte
L	Separación entre Ejes Anterior y Posterior
m_s	Masas Suspendidas del Vehículo
m_u	Masas no Suspendidas del Vehículo
N	Normal
$\mathbf{P_i}$	Carga Puntual
u	Vector de Desplazamientos
t	Separación entre Centros de Ruedas Delanteras
T	Vector de Tensión
δ	Declinación Solar
ϵ	Deformación Unitaria Lineal
ρ	Densidad
μ	Coeficiente de Fricción
ν	Relación de Poisson
ζ	Relación de Amortiguamiento

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Análisis de Circulación en una Pista Rectangular……...4
Figura 1.2 Proceso Iterativo de Diseño del Vehículo Solar…….…14
Figura 1.3 Diagrama de Medición de Potencia…….…17
Figura 2.1 Fuerzas Aerodinámicas que Actúan sobre un Vehículo..…..……27
Figura 2.2 Comportamiento del Flujo en el Ala de un Avión…….…....30
Figura 2.3 Modelado 3D para el Análisis Aerodinámico……..32
Figura 2.4 Comportamiento de las Fuerzas de Arrastre y Sustentación…....35
Figura 2.5 Líneas de Flujo análisis Aerodinámico……..…….....36
Figura 2.6 Zona de Contacto entre la Rueda y el Suelo…….……39
Figura 2.7 Esquema de la Medición de la Resistencia a la Rodadura…..……41
Figura 2.8 Gráfico de las Fuerzas de Resistencia en el Vehículo……....44
Figura 2.9 Potencia del Motor Eléctrico vs la Carga del Vehículo……...…49
Figura 2.10 Torque del Sistema de Transmisión……...….50
Figura 3.1 Cuerpo Tridimensional…….……53
Figura 3.2 Equilibrio de un Volumen Elemental dV……....54
Figura 3.3 Superficie Elemental Deformada……..……..….56
Figura 3.4 Esfuerzos en dos Dimensiones…….....…...59
Figura 3.5 Seccionamiento en Elementos Finitos…….....61
Figura 3.6 Diagrama de Flujo por el Método de Elementos Finitos……..….64
Figura 3.7 Fuerzas Aplicadas en los Puntos de Apoyo del Vehículo……....70
Figura 3.8 Fuerzas Inerciales en la Estructura del Vehículo……...72
Figura 3.9 CAD de la Forma Preliminar del Chasis…….……75
Figura 3.10 Esquema de la Estructura del Chasis…….....80
Figura 3.11 Seccionamiento con Elementos tipo Viga……...83
Figura 3.12 Diseño de Forma Inicial del Vehículo Solar…….…….....85
Figura 3.13 Forma del Perfil de la Serie NACA 66……..86
Figura 3.14 Vista Isométrica del Diseño de Forma 2……..87
Figura 3.15 Perspectiva del Diseño de Forma 2……..…87
Figura 3.16 Redenderizado del Diseño de Forma 3……..……88
Figura 3.17 Perspectivas del Diseño de Forma 3……..……88
Figura 3.18 Perspectivas del Diseño Final de la Carrocería……..…….……90
Figura 3.19 Esquema del Sistema de Aletas Aerodinámicas……..……....92
Figura 3.20 Esquema de las Aero-formas Tipo Persiana……..93
Figura 4.1 Geometría Ackerman……..97
Figura 4.2 Geometría del Mecanismo de Dirección……..98

Figura 4.3 Mecanismo de Cuatro Barras del Sistema de Dirección…….....99
Figura 4.4 Geometría Trapezoidal y la Geometría Ackerman……..…102
Figura 4.5 Sistema de Dirección del Vehículo……105
Figura 4.6 Convergencia de las Ruedas Delanteras……..……110
Figura 4.7 Distribución de Masas Puntuales……..……...113
Figura 4.8 Esquema de la Suspensión……..……...117
Figura 4.9 Modelo del Tercio de la Suspensión del Vehículo…...……..…118
Figura 4.10 Frecuencia Natural vs Deflexión Estática……..……....122
Figura 4.11 Diagrama de Bloques del Sistema de Suspensión……..…..124
Figura 4.12 Respuesta del Sistema de Suspensión…….....…125
Figura 4.13 Esquema del Sistema de Suspensión Frontal…….....128
Figura 4.14 Mecanismo del Sistema Frontal de Suspensión……..…130
Figura 4.15 Sistema de Suspensión Frontal.……..…132
Figura 4.16 Sistema de Suspensión Posterior……..…136
Figura 4.17 Espacio Recorrido a Distintas Velocidades…….……141
Figura 4.18 Esquema de la Ubicación del Centro de Gravedad……..143
Figura 4.19 Frenado con las Ruedas Delanteras y Rueda Posterior……....146
Figura 4.20 Fuerzas Presentes en el Frenado…….....148
Figura 4.21 Esquema de la Configuración del Sistema de Frenos……150
Figura 4.22 Detalle del Sistema de Frenos del Vehículo……151
Figura 4.23 Esquema del Sistema de Transmisión Mecánica…….…..152
Figura 5.1 Espectro Electromagnético…….....159
Figura 5.2 Radiación Directa, Difusa y Reflejada……...161
Figura 5.3 Energía Incidente sobre un Plano Inclinado……..……..162
Figura 5.4 Masa de Aire……163
Figura 5.5 Espectro Solar Terrestre…….....163
Figura 5.6 Variación de la Radiación Solar Directa……164
Figura 5.7 Azimut y Altitud para latitudes al Norte del Ecuador…….…....166
Figura 5.8 Órbita de la Tierra…….....168
Figura 5.9 Eclíptica y Ecuador Celestial……..169
Figura 5.10 Vista Satelital del Recorrido del Primer Día…….…….....172
Figura 5.11 Vista Satelital del Recorrido del Segundo Día…….....173
Figura 5.12 Vista Satelital del Recorrido del Tercer Día……..…174
Figura 5.13 Incidencia de la Radiación Solar sobre la Tierra……..…176
Figura 5.14 Incidencia de la Radiación solar en el Zenit…….…….....177
Figura 5.15 Esquema de la Inclinación de los Paneles…….....179
Figura 5.16 Porcentaje de Energía Estimada de los Paneles Fotovoltaicos....181
Figura 5.17 Potencia Estimada de los Paneles Fotovoltaicos…….……...182
Figura 6.1 Pares Electrón-Agujero en un Material con Carga Conectada….186
Figura 6.2 Esquema de una Celda Solar……187

Figura 6.3 Conexión en Serie de Celdas Fotovoltaicas……189
Figura 6.4 Voltaje vs Corriente en una Celda Fotovoltaica Típica……190
Figura 6.5 Configuración de los Paneles Fotovoltaicos……193
Figura 6.6 Analogía de una celda fotovoltaica y un Circuito Eléctrico…..194
Figura 6.7 Ensamble del Panel Fotovoltaico……196
Figura 6.8 Ciclo de Carga y Descarga en una Batería……203
Figura 6.9 Esquema Interior de una Batería de Iones Litio……204
Figura 6.10 Distribución Ideal de la Energía……206
Figura 6.11 Fuerza Magnética en un Conductor Eléctrico……208
Figura 6.12 Motor Eléctrico de dos Polos……209
Figura 6.13 Circuito Equivalente del Motor DC……211
Figura 6.14 Torque vs Velocidad Angular de un Motor DC……213
Figura 6.15 Esquema del Motor Brushless DC……214
Figura 6.16 Funcionamiento del Motor Brushless DC……216
Figura 6.17 Torque vs Velocidad Angular de un Motor Brushless DC……218
Figura 6.18 Distribución Energética en el Vehículo……220
Figura 6.19 Diagrama Eléctrico General……222
Figura 6.20 Esquema de Control y Administración de la Energía.....224
Figura 6.21 Controlador y esquema del Acelerador del Vehículo……225
Figura 7.1 Proceso de Corte del Material……227
Figura 7.2 Máquina Cortadora de Hilo……228
Figura 7.3 Preparación del Material……229
Figura 7.4 Esquema del Proceso de Soldadura TIG……230
Figura 7.5 Soldadura del Aluminio con el Proceso TIG……232
Figura 7.6 Mecanización en el Torno CNC……233
Figura 7.7 Armado de los Perfiles de Aluminio del Chasis……235
Figura 7.8 Soldadura del Chasis……236
Figura 7.9 Cortes de Elementos de la suspensión Delantera……238
Figura 7.10 Plantillas para Corte de Elementos del Balancín……239
Figura 7.11 Esquema del Armado de una Rueda……242
Figura 7.12 Componentes de la Rueda Delantera……243
Figura 7.13 Rueda Delantera Armada……243
Figura 7.14 Rueda Posterior. (a) Llanta (b) Rueda Armada……244
Figura 7.15 Componentes del Sistema de Transmisión Mecánica……246
Figura 7.16 Componentes del Sistema de Frenos……248
Figura 7.17 Madera Balsa Reforzada con Fibra de Vidrio y Resina……250
Figura 7.18 Celdas Fotovoltaicas……251
Figura 7.19 Láminas de Acrílico……252
Figura 7.20 Equipo y Materiales para Soldar las Celdas Fotovoltaicas……253
Figura 7.21 Proceso de Soldado de las Celdas Fotovoltaicas……255

Figura 7.22 Soldadura en Serie de las Celdas Fotovoltaicas…….....256
Figura 7.23 Distribución de las Filas de Celdas Fotovoltaicas…….……...……...257
Figura 7.24 Elastómero de Silicona “184 Sylgard…….....258
Figura 7.25 Distribución de la Base Silicona……..258
Figura 7.26 Secado de los Paneles……..…….……259
Figura 7.27 Paneles Fotovoltaicos Finalizados y Ensamblados…….260
Figura 7.28 Componentes Eléctricos y Electrónicos del Vehículo…..……...261
Figura 7.29 Ensamble de Elementos Mecánicos……..……263
Figura 7.30 Detalle del Ensamble de las Pistas de la Dirección…….....…264
Figura 7.31 Detalle del Ensamble de la Rótula de la Dirección……...……265
Figura 7.32 Voltaje de Batería vs Tiempo de Carga……..……..……..267
Figura 7.33 Corriente de Carga vs Tiempo de Carga…….....……...267
Figura 7.34 Potencia Entregada a la Batería vs Tiempo…….....268
Figura 7.35 Pesaje del vehículo……..……..…….270
Figura 7.36 Vista satelital y Pruebas Dinámicas……..…….……272
Figura 7.37 Esquema de la Prueba de Frenado ……..……274

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Diagrama de Gantt del Proyecto…….....13
Tabla 2 Condiciones del Análisis Aerodinámico……..…….....33
Tabla 3 Resultados de Análisis de las Fuerzas Aerodinámicas……34
Tabla 4 Valores Característicos de Motor Brushless……..…48
Tabla 5 Propiedades Mecánicas de la Aleación de Aluminio 6061T6….....67
Tabla 6 Radios de Giro del Vehículo…….……...103
Tabla 7 Valores Típicos de Amortiguación…….....121
Tabla 8 Coeficiente de Rozamiento de Algunos Materiales……..138
Tabla 9 Relación de Velocidades…….....155
Tabla 10 Datos Necesarios para el Cálculo de la Energía Solar…….....180
Tabla 11 Porcentaje de Energía Total dada por los Paneles……..……181
Tabla 12 Energía Solar Estimada en la Competencia…….……183
Tabla 13 Características de las Celdas Fotovoltaicas……..191
Tabla 14 Características Eléctricas Teóricas del Arreglo Fotovoltaico…….195
Tabla 15 Características Técnicas del Regulador Solar Seleccionado.....200
Tabla 16 Energía Total de las Diferentes Fuentes…….....205
Tabla 17 Características Técnicas de las Baterías de Iones de Litio……206
Tabla 18 Perfiles de Aluminio Usados en el Chasis……...……234
Tabla 19 Perfiles de Aluminio de los Paneles…….……..255

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Detalle de Corte de la Plancha de Aluminio
Plano 2 Ménsulas
Plano 3 Chasis
Plano 4 Brazo Superior e Inferior
Plano 5 Tubo Guía de la Dirección
Plano 6 Balancín
Plano 7 Eje y Barra de la Dirección
Plano 8 Carrocería
Plano 9 Paneles Fotovoltaicos
Plano 10 Bocines

INTRODUCCIÓN

La Ruta Solar 2011 fue la primera carrera a nivel latinoamericano de vehículos impulsados con energía solar y humana, la cual, se presentó como una oportunidad para América Latina de investigación, desarrollo e innovación en energías renovables. La competencia posibilitó la participación de estudiantes universitarios, incentivando el ingenio e iniciativa. De esta manera, La Ruta Solar mediante un gran impacto mediático enfocándose en las nuevas generaciones, transmite un mensaje para la creación de conciencia a nivel mundial en relación con el uso de fuentes de energías renovables.

Uno de los requisitos más importantes en esta competencia fue que, los vehículos debían ser construidos con materiales y componentes cuyo presupuesto esté acorde a la realidad de América Latina, es decir, no debía superar el valor de $7.000,00. La Ruta Solar 2011 tuvo como sede Chile, y se desarrolló entre los días 30 de septiembre y 2 de Octubre del 2011, pasando por las ciudades de Iquique, Antofagasta, Calama.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral, aceptó el desafío de construir el primer vehículo solar del Ecuador, con lo cual se creó el equipo Inti-Invictus, conformado por profesores, profesionales y estudiantes politécnicos. De esta manera surge la necesidad de realizar como tesis este trabajo de investigación, desarrollo e innovación; la cual tiene como alcance el diseño, construcción e implementación del vehículo híbrido, el contenido de esta tesis se divide en 8 capítulos.

El capítulo 1 contiene la identificación del problema, la metodología de diseño, y los criterios de diseño en referencia a las normas y reglas de la competencia. La concepción teórica del vehículo se encuentra en el capítulo 2, que contiene el estudio para encontrar las fuerzas de resistencia, como las fuerzas aerodinámicas y la resistencia a la rodadura, con lo cual se dimensiona la potencia del vehículo.

El diseño de la estructura del vehículo solar está definido en el capítulo 3, en el cual se analiza las deformaciones del material seleccionado con sus respectivas cargas aplicadas; los sistemas mecánicos, de dirección, suspensión, frenos y transmisión se diseñan en el capítulo 4.

En el capítulo 5 contiene, la teoría sobre el movimiento relativo del Sol con respecto a la Tierra y la estimación de la energía solar disponible en el lugar y fecha de la competencia. La configuración del sistema eléctrico, el arreglo de las celdas fotovoltaicas, almacenamiento, regulación y administración de la energía, y control del vehículo, se detallan en el capítulo 6.

En el capítulo 7 se explica, los procesos de construcción utilizados, además se expone las pruebas realizadas al vehículo para clasificación a la competencia. Los resultados, conclusiones y recomendaciones se muestran en el capítulo 8.

Finalmente, en los anexos se encuentra, la información adicional, cálculos, simulaciones, catálogos, planos de construcción, normas de seguridad, manual de ruta, plan de emergencia de la competencia, etc.

CAPÍTULO 1

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. Identificación del Problema.

El primer paso en el proceso de diseño es definir el problema tan claro como sea posible, para lo cual se analiza los aspectos del vehículo que tienen mayor énfasis en el diseño, para entender de mejor forma el problema, se compara las condiciones para un mejor rendimiento cuando se circula en una pista de forma rectangular, como se muestra en la figura 1.1, y las condiciones que se tienen en una competencia de vehículos solares.

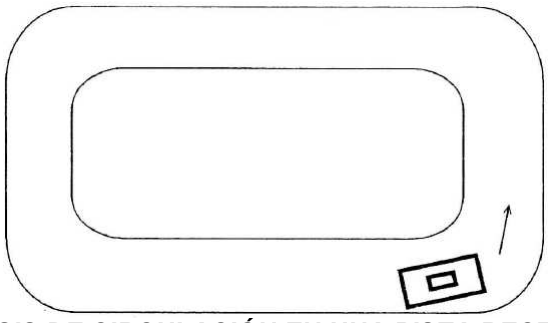


FIGURA 1.1 ANÁLISIS DE CIRCULACIÓN EN UNA PISTA RECTANGULAR

Para recorrer esta pista en el menor tiempo posible se tiene que:

- Ir por la curva lo más rápido sin que implique perder el control y deslizarse por fuera de la pista, la velocidad en las curvas está limitada principalmente por la tracción que existe entre las llantas y la calzada, esto se logra con un alto coeficiente de fricción entre el caucho de las llantas y la carretera, también, se debe tener una fuerza aerodinámica hacia abajo que aumente la fuerza normal, con el suelo e incremente la fricción, la suspensión debe mantener las ruedas en contacto con la pista mejorando el agarre.

- Al salir de la curva se tiene que acelerar lo más que se pueda y seguir acelerando por toda la recta, por lo tanto el motor debe proveer la máxima potencia que se obtiene teniendo una transmisión eficiente, minimizando el peso del vehículo, disminuyendo el arrastre aerodinámico y manteniendo un alto coeficiente de fricción entre las llantas y la pista.

- Justo al entrar a la siguiente curva se tiene que accionar los frenos para disminuir la velocidad necesaria y no salirse de la

curva, entre los aspectos que influyen en el rendimiento del frenado influye que la llanta tenga un alto coeficiente de fricción y también una distribución uniforme del peso en cada rueda para prevenir el descontrol del vehículo.

En cambio en una carrera de vehículos solares se tiene condiciones muy diferentes que en la pista rectangular descrita anteriormente, por lo general estos circuitos constan de cientos de kilómetros donde solo hay rectas y pocas curvas, entonces el rendimiento en la aceleración, frenado y giros aunque hay que considerarlos pasan a ser problemas secundarios en el diseño.

Por lo tanto, el objetivo primario en el diseño es hacer un vehículo confiable y energéticamente eficiente, es decir que viaje lo más rápido y recorra una distancia mayor usando la menor cantidad de energía. Para el diseño del prototipo de vehículo solar se considera los siguientes objetivos:

- Arreglar las celdas fotovoltaicas de tal forma que ocupen la mayor área posible para obtener la mayor cantidad de energía eléctrica proveniente de la radiación solar.

- Minimizar las fuerzas de resistencia, esto se logra teniendo una baja resistencia a la rodadura así como también baja resistencia aerodinámica.

- Optimizar el peso del vehículo, el mismo debe ser liviano, tener una alta relación entre la resistencia y el peso de los componentes estructurales del vehículo.

- Optimizar el sistema de tracción (humana y eléctrica) para que, las pérdidas por fricción en piñones y cadenas no sean significantes.

- Disminuir el consumo energético de los subsistemas menores, implica que se debe usar cables y conectores eléctricos de baja resistencia eléctrica.

- Almacenar la energía eléctrica de manera eficiente, permitiendo su carga y descarga en forma simultanea.

- Considerar aspectos importantes como la confiabilidad, seguridad, ergonomía y maniobrabilidad, etc.

1.2. Metodología y Planificación del Diseño.

Para el desarrollo del prototipo se aplicó principios de gestión de proyectos de ingeniería, la tarea principal es trazar los plazos que se imponen en un gran proyecto multidisciplinario como lo es el desarrollo de un vehículo solar. En un gran proyecto de diseño de ingeniería se requiere que se empleen las técnicas básicas de gestión para garantizar que el proyecto se termine a tiempo haciendo eficiente el uso de los recursos disponibles, entonces se debe tener en cuenta el tiempo disponible y los recursos para diseñar, fabricar y probar el vehículo, considerando la historia de prototipos ya desarrollados o productos similares para obtener conocimientos e ideas acerca de cómo el vehículo debe ser diseñado.

Las carreras de vehículos solares en el mundo se celebran cada dos años, por lo que la mayoría de los equipos operan en ese tiempo. El horario y las asignaciones de tiempo para el diseño, construcción, pruebas, rediseño, y competencia deben encajar en este período.

También hay que reconocer que la preparación y la carrera en si son periodos muy intensos que requieren mucho esfuerzo y trabajo de los miembros del equipo. Para el diseño, construcción, pruebas y preparación para la carrera se contó con un periodo de 9 meses, es así que el proyecto se puede dividir en cinco fases, las mismas que se describen a continuación.

Fase 1

La primera fase del proyecto implica la generación de ideas de cómo el vehículo será diseñado y construido, la lluvia de ideas se generan con respecto a todos los aspectos del vehículo. Las decisiones más importantes a considerar son: las celdas solares, baterías, motor eléctrico y controlador que el vehículo va a utilizar pues estos son componentes no disponibles en el medio y que requieren cierto tiempo en ser adquiridos. Se tiene que definir la forma general del vehículo, puntos de apoyo, y la posición del conductor, también se debe buscar opciones de llantas, frenos, dirección, componentes de la suspensión, materiales del chasis, materiales de la carrocería, sistema de visión trasera, luces de freno, controles y otras opciones de diseño. Esta fase

culmina con la decisión de cómo el vehículo será diseñado y cuáles serán los materiales de construcción de este.

Fase 2

La segunda fase es el diseño detallado del vehículo, los detalles de cómo los sistemas estarán interrelacionados entre sí. Algunas de las decisiones de la primera fase no serán consideradas porque estas ideas se veían bien conceptualmente, pero no fue posible trabajar en los detalles de un diseño adecuado, por lo tanto se debe definir, crear y seleccionar adecuadamente los conceptos importantes para el diseño. Esta fase termina cuando se tiene un diseño detallado de todos los aspectos del vehículo.

Fase 3

La tercera fase es la construcción del prototipo, algunos diseños tendrán que ser modificados con el fin de fabricarlos y puede que algunas opciones sean desechadas. Los componentes y subsistemas se ponen a prueba y se cambia lo necesario para asegurar un diseño fiable. Esta

fase termina cuando el vehículo está montado y preparado para la prueba.

Fase 4

La cuarta fase es la prueba del vehículo, los problemas que se temían saldrán a la superficie, estos problemas pueden parecer obvios y evitables cuando se dan a conocer pero todos los vehículos requieren un rediseño con el fin de eliminar los errores. Esta fase termina cuando el vehículo funciona de forma fiable.

Fase 5

La quinta fase es la preparación de la carrera, el equipo debe desarrollar simulaciones prácticas de la carrera, los pilotos deben adquirir experiencia en la conducción del vehículo y el resto del equipo va a ganar experiencia en el apoyo al mismo, como por ejemplo, minimizar el tiempo en el cambio de neumáticos, realizar el mantenimiento de rutina o solucionar problemas comunes del vehículo. Esta fase termina cuando comienza la carrera.

Teniendo en cuenta el periodo de 9 meses para completar el proyecto, las dos primeras fases deben ser completadas en los primeros 3 meses, algunos subsistemas se irán seleccionado mucho antes, y una vez que un concepto de diseño se haya definido se procederá a la fase de diseño detallado. Existe una superposición en todas estas fases porque no hay un tiempo exacto en que una etapa concluye y otra empieza. Dos meses es tiempo suficiente para probar y prepararse para la competencia con las fases 4 y 5 del proyecto, esto deja aproximadamente 4 meses para la construcción del vehículo.

La planificación existe para ayudar al proyecto, llega un momento en que los compromisos deben hacerse con el programa, pasar más tiempo investigando los conceptos de diseño se traducirá en mejores conceptos, pasar más tiempo en detalles de los diseños se traducirá en mejores diseños, pasar más tiempo en la fabricación, pruebas, o preparación de la carrera se verá mejores resultados en esas áreas. Si hay más tiempo disponible, el equipo podría desarrollar un mejor

vehículo. A continuación en la tabla 1 se muestra el diagrama de Gantt del proyecto.

TABLA 1
DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO

	Mes								
Fase	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1	X	X							
2		X	X	X					
3				X	X	X	X		
4								X	
5								X	X

Algunas consideraciones específicas para cada paso del proceso iterativo de diseño, cuando se aplica al diseño de un vehículo solar, se detallan en el siguiente diagrama.

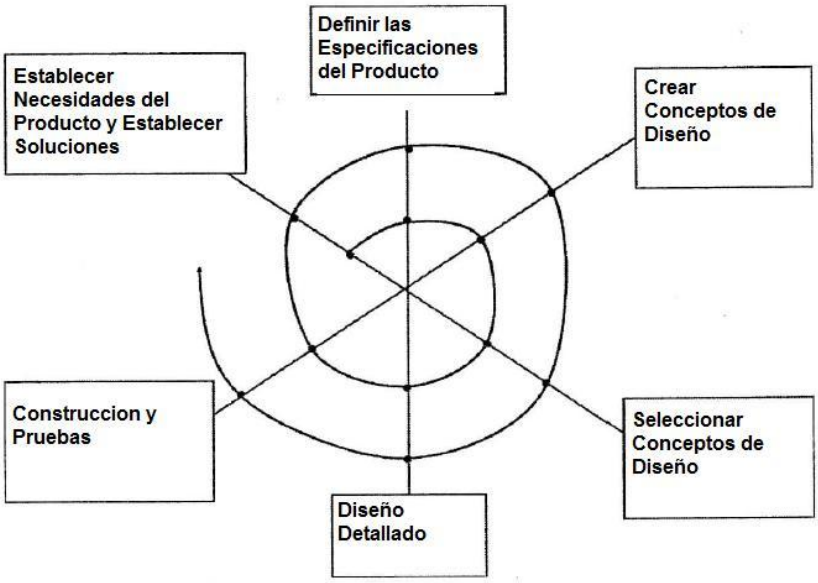


FIGURA 1.2 PROCESO ITERATIVO DE DISEÑO DEL VEHÍCULO SOLAR

1.3. Competencia "La Ruta Solar"

Descripción

La Ruta Solar es la primera carrera a nivel latinoamericano de vehículos impulsados con energía solar y humana. Los vehículos deben ser construidos con materiales cuyo presupuesto esté acorde a la realidad de América Latina. La Ruta Solar 2011 tendrá como sede Chile, y se desarrollará entre los días 30 de septiembre y 2 de Octubre del 2011, pasando por las ciudades de Iquique, Antofagasta, Calama y volviendo a Iquique.

La Ruta Solar se presenta como una oportunidad para América Latina de investigación, desarrollo e innovación en energías renovables. La competencia posibilitará la participación de estudiantes universitarios, incentivando el ingenio. De esta manera, La Ruta Solar, a través de una actividad de gran impacto mediático y apoyada con actividades enfocadas en las nuevas generaciones, busca transmitir un mensaje para la creación de conciencia a nivel mundial en relación con el uso de fuentes de energías renovables no convencionales. La descripción acerca de la zona y ruta se encuentra en el capítulo 5.

Objetivo

"Fomentar en las universidades el desarrollo de vehículos de bajo costo impulsados por energía solar para América Latina".

1.4. Especificaciones de Diseño

Especificaciones Generales

En funcionamiento, el vehículo no podrá exceder los 2.5 m de largo, 1.2 m de ancho y 1.8 m de alto. En funcionamiento, el vehículo deberá tener al menos tres puntos de apoyo funcionales y al menos un ocupante.

Fuentes de Energía

Los vehículos deben ser impulsados únicamente por tres fuentes de energía: energía Solar, energía de baterías y energía humana, según se definen a continuación.

Energía Solar

La energía solar es la energía que el vehículo obtiene de la radiación solar durante el desarrollo de la competencia. La energía solar se deberá captar únicamente mediante celdas fotovoltaicas. La energía de baterías cargadas con energía solar con anterioridad al inicio de la competencia no será considerada como energía solar. Se exigirá que para la competencia al menos el 50% de la energía utilizada sea energía solar.

Energía de Baterías

Energía baterías es la que esta almacenada en las baterías de los vehículos al comienzo de la competencia.

Energía Humana

Se entenderá por energía humana aquella que entregan los ocupantes del vehículo durante el desarrollo de la competencia.

Medición de Energía Solar y Energía del Banco de Baterías

Para medir la cantidad de energía utilizada según el tipo de energía, la Organización instalará en cada vehículo dos sensores de medición de potencia, según la figura 1.3.

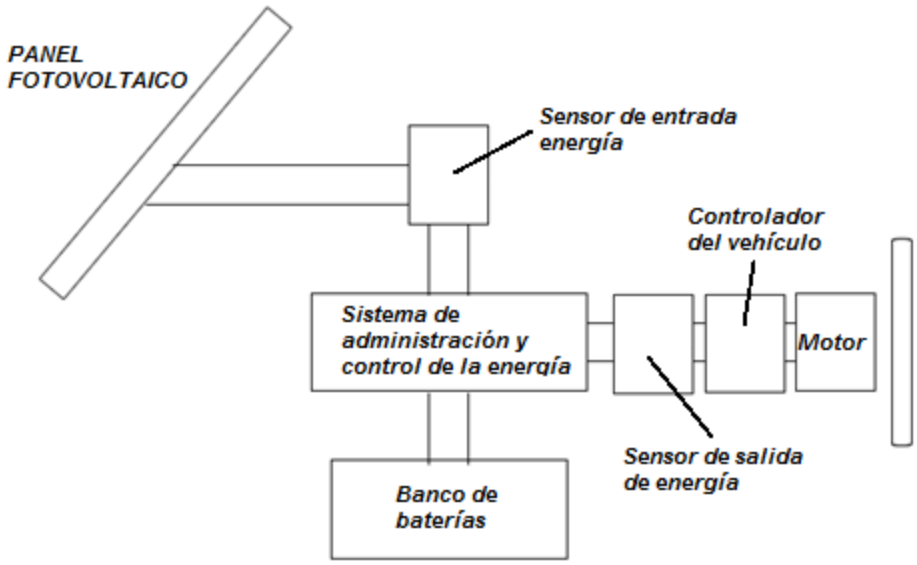


FIGURA 1.3 DIAGRAMA DE MEDICIÓN DE POTENCIA.

Con esto, se medirá la energía solar y la energía de baterías, queda prohibida la intervención de los sensores. La instalación de otros dispositivos de medición de energía o potencia por parte de los equipos no los libera de la instalación de los sensores de la Organización. En caso de diferencia en las mediciones, la única válida será la medición oficial. El esquema general del circuito eléctrico de la figura 1.3 es referencial, por lo que no limita otro tipo de estrategias de control de la energía. Sin embargo la ubicación de los sensores para medición de la energía de salida del panel y energía consumida por el motor no sufre variaciones.

Asientos

Los vehículos deben tener un asiento para cada ocupante, consistente en una base y un respaldo, que permita apoyar toda la espalda. Como recomendación, el ángulo de inclinación del asiento no debiera ser mayor a 27º con respecto a la vertical. Conducir un vehículo en un ángulo de inclinación mayor induce fatiga, dificulta la visión y evita el correcto funcionamiento del cinturón de seguridad en el evento de colisión.

El uso de cinturones de seguridad es obligatorio para todos los ocupantes. El estándar mínimo es un cinturón de tres puntos adecuado para soportar y proteger al ocupante. Los vehículos deben ser construidos o adaptados para proteger, razonablemente, a los ocupantes en el evento de colisión o volamiento. Se deberán tomar medidas para evitar que accesorios u otros componentes del vehículo golpeen a los ocupantes en caso de accidente.

Ingreso y Evacuación

Los vehículos deben ser diseñados para permitir a los ocupantes entrar y salir del vehículo sin ayuda. Las puertas deben permitir la apertura-cerradura desde el interior y exterior del vehículo. Los equipos deberán demostrar que los ocupantes pueden salir del vehículo sin asistencia en no más de 12 segundos. Asegurar puerta o cubierta con cinta adhesiva no está permitido.

Frenos

Los vehículos deberán tener un sistema dual de frenos, de modo que si uno falla, el vehículo debe poder frenar con seguridad. Los vehículos deberán demostrar una habilidad de frenado que les permita detenerse

en 5 m recorriendo inicialmente a una velocidad de 15 km/h. Los vehículos deberán estar equipados con un freno de estacionamiento (o freno de mano) capaz de mantener al vehículo y sus ocupantes en una inclinación de 15°.

Neumáticos

Los neumáticos deben ser aptos para uso en carretera, deben ser capaces de soportar las cargas y fuerzas producidas por el vehículo y sus ocupantes. Deberán utilizarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Los neumáticos no deberán tener defectos aparentes.

Ventanas y Parabrisas

Todas las ventanas deben ser fabricadas con materiales altamente resistentes y transparentes de manera que no distorsionen la visión. Las ventanas no podrán ser polarizadas ni coloreadas al nivel de que el conductor no se pueda observar claramente desde el exterior.

Visión.

El conductor sentado en posición debe tener visión en todas las direcciones, si esta no es directa, es necesario la implementación de espejos retrovisores.

Maniobrabilidad.

Los vehículos deben ser capaces de maniobrar de manera segura durante la competencia. Los vehículos deben poder realizar una curva en “U” en ambas direcciones en una pista de 9 m de ancho. La competencia incluye el paso por calles, avenidas y autopistas. Los vehículos deben ser capaces de virar, cambiarse de pista, etc.

Luces e Indicadores

Los vehículos deben tener luces de freno y luces de viraje. Estas deberán ser visibles desde una distancia de 20 m. Los vehículos deben tener una bocina u otra señal audible.

Electrónica y Electricidad

Todos los sistemas eléctricos deben ser construidos acorde con las buenas prácticas de la ingeniería. En caso de que el voltaje del sistema

exceda los 32 V, los vehículos deberán construirse de tal manera que sea imposible para el ocupante del vehículo, u otra persona que se encuentre trabajando, hacer contacto con terminales energizados sin antes remover una cubierta protectora.

En todas las cubiertas protectoras indicadas en el punto anterior se debe incluir una señal de alto voltaje. El conductor debe poder aislar el panel solar del resto del vehículo desde su posición de conducción, sin desajustar su cinturón de seguridad.

El conductor debe poder aislar el banco de baterías del resto del vehículo desde su posición de conducción sin desajustar su cinturón de seguridad. El aislamiento debe ser por medio de un interruptor o contactor.

Para uso en caso de emergencia, los vehículos deben proveer un método de aislar el panel solar y el banco de baterías entre ellos y del resto de vehículo. El sistema debe poder ser operado instantáneamente y sin dudas por alguien no familiarizado con el vehículo, desde el exterior del vehículo y sin el uso de herramientas. Dicho sistema debe

estar marcado claramente, además de indicar las instrucciones de uso (ej.: Tirar, presionar). El sistema eléctrico debe estar protegido por fusibles que permitan proteger los sistemas eléctricos y electrónicos de cortocircuitos. El equipo debe contar, por obligación, como mínimo de un controlador del motor de repuesto (inversor). Este debe ser considerado en la lista de piezas oficial.

Seguridad

Todos los piñones, cadenas y otros componentes mecánicos deberán estar cubiertos durante el funcionamiento. Los componentes internos y compartimientos de carga deberán estar asegurados a la estructura. Se debe proveer ventilación adecuada para los ocupantes. Los ocupantes de los vehículos deben utilizar casco siempre que el vehículo esté en movimiento. El casco debe cumplir o exceder los estándares Snell95, DOT o ISO.

Manipulación.

Los vehículos deben tener claramente indicadas las partes desde donde se puedan sujetar para poder ser manipulados de manera segura y sin que el vehículo se dañe.

Acumulación de Energía

Se permitirá el uso de acumulación de energía. Los sistemas de acumulación de energía deberán ser aprobados por la Organización. Dispositivos de almacenamiento temporal de energía, distinto a baterías (Ej.: Súper-Capacitores) deben estar completamente descargados al momento de iniciar la competencia. Instrumentos, computadores y medidores comerciales pueden utilizar baterías, siempre que las baterías sean internas al dispositivo y cumplan con las especificaciones del fabricante. No se podrá realizar conexiones externas a dichas baterías.

Baterías

El banco de baterías debe estar en un contenedor cerrado, fijado firmemente a la estructura del vehículo. Las baterías deben estar fijas dentro del contenedor. El uso de amarra cables o cinta adhesiva no cumple dicha condición. Una vez iniciada la competencia, las baterías sólo podrían cargarse con la energía del panel solar. Se podrá recuperar energía del movimiento del vehículo (Ej.: Frenos regenerativos). En caso de utilizar un sistema de frenos regenerativos, no se aceptará como sistema de frenos primario. Tampoco podrá ser utilizado en caso de que

el vehículo sea remolcado. Cargar baterías de cualquier otra fuente será motivo de descalificación. Entre la puesta y la salida del sol, el equipo debe guardar las baterías en una caja con llave, la cual se colocará en una posición aceptable para el observador. Los equipos deben contar con candado o cerradura adecuada para tal efecto.

CAPÍTULO 2

2. MODELADO DEL VEHÍCULO SOLAR.

2.1. Propósito del Modelado

El modelado permite entender cuantitativamente donde la energía está siendo consumida y también, enfocarse en los aspectos más importantes en el diseño del vehículo. Después de la construcción del vehículo, el modelado sirvió para interpretar los datos de las simulaciones y compararlos con los reales, de esta manera se determinó cuáles son los sistemas que están limitando el rendimiento del vehículo y ayuda a trazar un plan de estrategia para la carrera.

2.2. Cargas Aerodinámicas.

Fundamentos

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que estudia las acciones que aparecen sobre los cuerpos sólidos cuando existe un movimiento relativo entre éstos y el fluido gaseoso que lo rodea. Las componentes de la fuerza aerodinámica se dividen en arrastre y sustentación como se muestra en la figura 2.1.

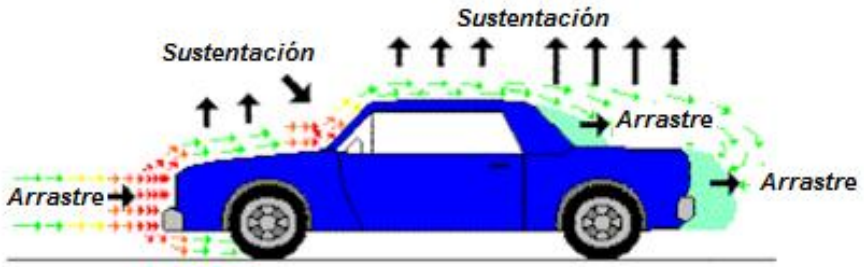


FIGURA 2.1 FUERZAS AERODINÁMICAS QUE ACTÚAN SOBRE UN VEHÍCULO

El arrastre es una fuerza vectorial que tiene una magnitud y una dirección que actúa en dirección opuesta al movimiento del vehículo, puede venir de las siguientes fuentes.

- Separación del flujo: Para las formas de automóviles tradicionales que son relativamente no aerodinámicos, el flujo se separa del

cuerpo cerca de las esquinas como las que existen en el parabrisas, esto crea vórtices de turbulencia.

- Fricción en la superficie: Como el aire fluye por sobre todo el cuerpo del vehículo existe fricción entre el aire y la superficie la cual causa una fuerza de arrastre, esta será proporcional al total del área del vehículo.

- Pérdida de presión por la capa límite: Esta capa se desarrolla entre la superficie del vehículo y el flujo libre de aire que fluye por sobre el área del mismo, esta capa se va haciendo más gruesa a medida que se avanza progresivamente desde el frente hacia la parte trasera del vehículo, de esta manera se tiene una caída en la presión haciendo que la presión en el frente sea mayor que en la parte trasera, causando otra fuerza de arrastre siendo proporcional a la altura o grosor del vehículo.

- Arrastre inducido: Todos los cuerpos son capaces de generar este tipo de arrastre si el cuerpo del vehículo está con un ángulo de ataque relativo al flujo de aire, siendo proporcional a la fuerza de sustentación que se crea debido a la diferencia de presión

entre la parte superior e inferior del vehículo, la sustentación puede estar dirigida hacia arriba o hacia abajo.

- Arrastre de interferencia: Esta fuerza se produce por las imperfecciones en la forma del vehículo como son las uniones o grietas.

El arrastre aerodinámico cuenta con un gran porcentaje en la fuerza total de resistencia cuando el vehículo se moviliza de manera rápida, la pérdida de potencia es menos significativa cuando se tiene una velocidad menor o igual a 40 Km/h.

También se tiene que la fuerza de sustentación, la cual es generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido, esta fuerza tiene dirección perpendicular al vector de la velocidad de la corriente incidente, y se forma por la diferencia de presión entre la parte superior e inferior, debido a la velocidad del fluido pues en uno de estos lados tendrá que recorrer una distancia mayor, acelerando el flujo disminuyendo de esta forma la presión. El gráfico siguiente muestra un ejemplo de cómo se comporta el flujo por sobre el ala de un avión.

FIGURA 2.2 COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN EL ALA DE UN AVIÓN

Ambas fuerzas aerodinámicas obedecen a la siguiente ecuación.

$$Carga\ aerodinamica = \frac{1}{2} CA\rho V^2 \qquad 2\text{-}1$$

Donde la constante C es el coeficiente aerodinámico y depende de la forma del vehículo, el coeficiente de la fuerza arrastre no es igual al de la fuerza de sustentación. El área representativa del vehículo (A), en este caso sería el área frontal de aproximadamente 1.04 m2 para la fuerza de arrastre y el área superior de 3 m2 aproximadamente para la fuerza de sustentación.

La densidad del aire (ρ) depende de las condiciones climáticas y geográficas, es inversamente proporcional a la temperatura y directamente proporcional a la presión atmosférica, es decir la densidad aumenta a medida que se incrementa la presión atmosférica y a medida de que vaya disminuyendo la temperatura, a mayor densidad del aire

mayor son las pérdidas. El valor de la velocidad del vehículo (V) es el valor más influyente en la magnitud de la fuerza aerodinámica, siendo directamente proporcional al cuadrado de esta variable.

Estimación de Fuerzas Aerodinámicas.

La gran dificultad en calcular los coeficientes de arrastre y sustentación debido a la forma del vehículo hace que la estimación mediante fórmulas matemáticas sea muy difícil de realizar pues se tendría primero que obtener las fórmulas empíricas en base a una previa experimentación.

Es por esto que una de las opciones que existen para estimar dichas fuerzas es la de realizar simulaciones en programas informáticos avanzados, para el análisis se escogió el programa “SolidWorks” que contiene la herramienta “FlowSimulation”, la misma que elimina la complejidad de la dinámica computacional de fluidos donde se puede simular de forma rápida y sencilla el flujo de fluidos, la transferencia de calor y las fuerzas de fluidos cuando estas interacciones son vitales para el éxito del diseño. Para simular se modeló en Solidworks a la carrocería

y al piloto, los demás componentes como chasis, ruedas, baterías, no se incluyeron en este modelado de tres dimensiones por que al momento de simular, la computadora no podía resolver esta operación. Finalmente el modelado quedó como se muestra en la figura siguiente.

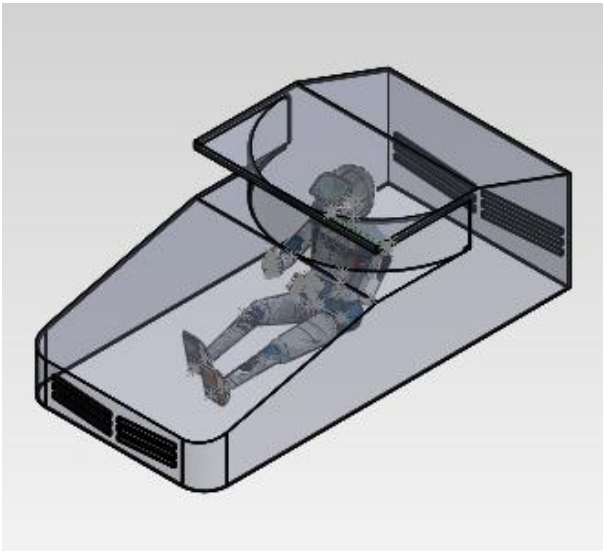


FIGURA 2.3 MODELADO 3D PARA EL ANÁLISIS AERODINÁMICO

Teniendo el modelo sin errores en la geometría se comienza con la simulación insertando las variables correspondientes, estas variables se detallan en la siguiente tabla.

TABLA 2
CONDICIONES DEL ANÁLISIS AERODINÁMICO

Tipo de análisis	*Externo*
Fluido	*Aire*
Condiciones de la superficie	*Sin rugosidad*
Tipo de proceso	*Adiabático*
Temperatura	*20 °C*
Densidad	*1 Kg/m3*

Se hace un análisis de fluido externo con condiciones de superficie adiabática pues no se considera que en la superficie exista transferencia de calor con el fluido. Se conoce que la superficie tendrá diferente rugosidad por los distintos materiales con los que se va a construir pero para la simulación de consideró a esta como un material liso y sin rugosidad.

En cambio se es conservador y se compensa en cierta forma las asunciones anteriores, con los valores que definen las condiciones ambientales como son la temperatura y densidad, pues se conoce que en promedio la temperatura será de 30°C y como estaremos en una altitud promedio de 1000 m sobre el nivel del mar la densidad será menor a 1 Kg/m3.

Con estas consideraciones se procedió a simular con velocidades desde los 10 hasta los 40 Km/h, en el apéndice de simulaciones se muestra un ejemplo de reporte detallado cuando el vehículo se mueve a 30 Km/h. Lo que interesa son las fuerzas que convergen en la simulación como son la fuerza de arrastre y la fuerza de sustentación que en este caso se dirige hacia el suelo, estas fuerzas se detallan en la siguiente tabla 3.

TABLA 3
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LAS FUERZAS AERODINÁMICAS

Velocidad (Km/h)	Arrastre (N)	Sustentación (N)	Velocidad (Km/h)	Arrastre (N)	Sustentación (N)
10	2,67	0,73	26	18,41	4,87
11	3,12	0,70	27	19,46	5,01
12	3,80	0,86	28	21,15	5,16
13	4,40	1,01	29	22,73	6,51
14	5,13	1,12	30	24,58	6,72
15	5,99	2,44	31	25,39	6,68
16	7,18	3,00	32	29,12	10,81
17	7,61	1,79	33	30,18	11,12
18	8,62	3,03	34	31,33	9,22
19	9,56	2,29	35	35,39	12,55
20	10,77	3,87	36	34,99	8,66
21	11,68	2,57	37	39,48	14,77
22	13,23	3,68	38	39,42	11,27
23	14,80	4,94	39	40,25	11,55
24	15,90	5,46	40	45,96	18,06

Observamos que el comportamiento de las dos fuerzas es proporcional al cuadrado de la velocidad del vehículo con valores entre 2 N y 46 N para el arrastre y de aproximadamente 0N a 18 N para la sustentación, esta fuerza de sustentación incrementa el peso un máximo de 2 Kg

haciendo que las ruedas tengan un mayor agarre sobre la carretera. A partir de los 30 Km/h los datos de la simulación cambian un poco con respecto a la tendencia normal de la curva, debido a la mayor turbulencia del fluido.

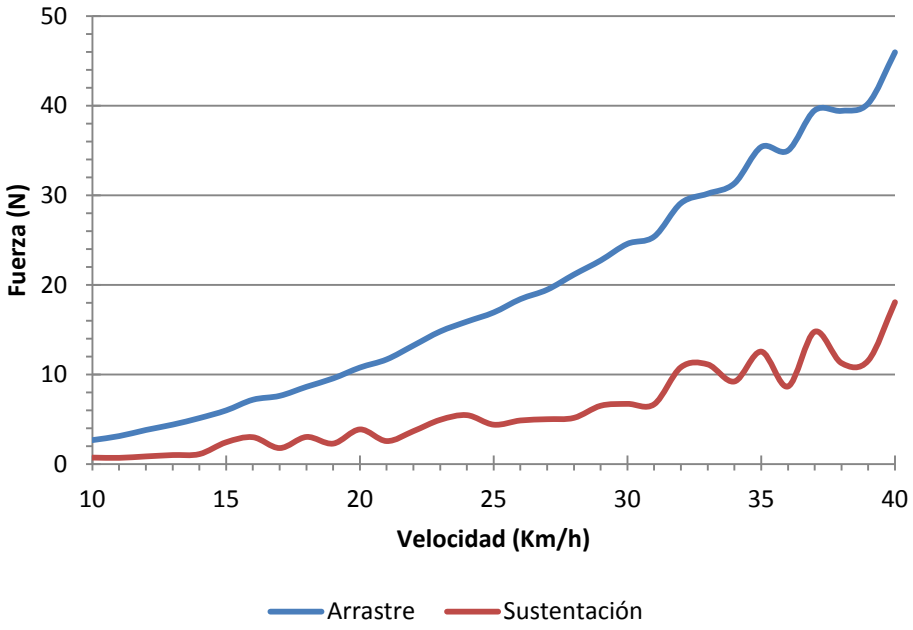


FIGURA 2.4 COMPORTAMIENTO DE LAS FUERZAS DE ARRASTRE Y SUSTENTACIÓN

A continuación en la siguiente figura observamos en una vista lateral y superior respectivamente el comportamiento de las líneas de flujo en alrededor de la carrocería del vehículo.

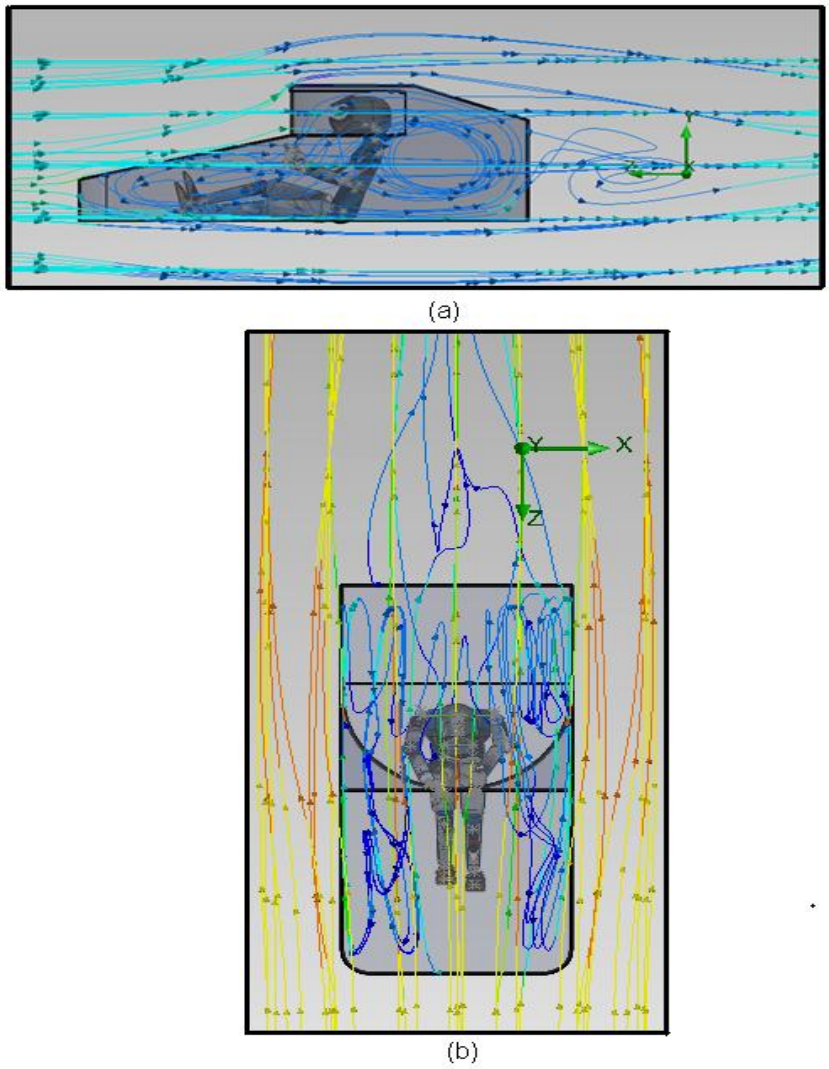


FIGURA 2.5 LÍNEAS DE FLUJO (A) VISTA LATERAL. (B) VISTA SUPERIOR.

Observamos cual es el comportamiento de las líneas de flujo, la recirculación del aire dentro del vehículo que provee mayor arrastre, pero se obtiene la ventilación necesaria para el piloto, también se forma

un vórtice o vacío en la parte posterior del vehículo, esto es muy común en la forma de los vehículos comunes. También se observa que la tonalidad de color en la parte frontal es diferente a la de la parte posterior, esto se debe a que se encuentran a diferentes presiones causados por la separación de flujo, intuimos que el porcentaje mayor en la fuerza de arrastre se debe a la separación del flujo.

Comprobamos que existe sustentación dirigida hacia abajo, porque la presión dentro del vehículo es menor debido al menor recorrido del flujo en comparación al recorrido del mismo por el exterior del vehículo.

2.3. Resistencia a la Rodadura

A bajas velocidades del vehículo, la resistencia a la rodadura es considerada como la fuerza de resistencia predominante, la misma que es directamente proporcional al peso del vehículo y se incrementa de forma lineal con la velocidad, también es dependiente de las condiciones del pavimento, correr en asfalto rugoso significa tener alta resistencia a la rodadura si la comparamos en la carretera donde el asfalto sea liso. También dependerá del tipo de llantas seleccionadas,

ya que si estas son delgadas y de alta presión tendrá menos resistencia que las gruesas y de baja presión. Para minimizar esta resistencia es necesario minimizar la energía absorbida por la flexión de las llantas, a continuación se presenta algunas opciones.

- La cantidad de deformación en la superficie de la carretera es proporcional al peso sobre la llanta, es así que reducir el peso sobre la llanta reduce la cantidad de energía absorbida en la misma.

- Incrementar la presión en la llanta reduce la deformación cuando esta está sometida a una carga, por lo tanto, el aumento en la presión reduce la flexión en el caucho reduciendo la fuerza de resistencia.

- Se gasta menos energía en deformar una hoja delgada de caucho en deformar una hoja gruesa del mismo material, entonces, las llantas delgadas tienen menor resistencia de rodadura, aunque se tiene que considerar que las llantas delgadas tienen menor resistencia a las pinchaduras.

- El área de contacto de la llanta con la superficie difiere con respecto al diámetro de la llanta, las de mayor diámetro tienen mayor radio de curvatura y tienden a formar un área de contacto alargada, esto reduce la flexión especialmente en los lados de la llanta, como se muestra en la siguiente figura.

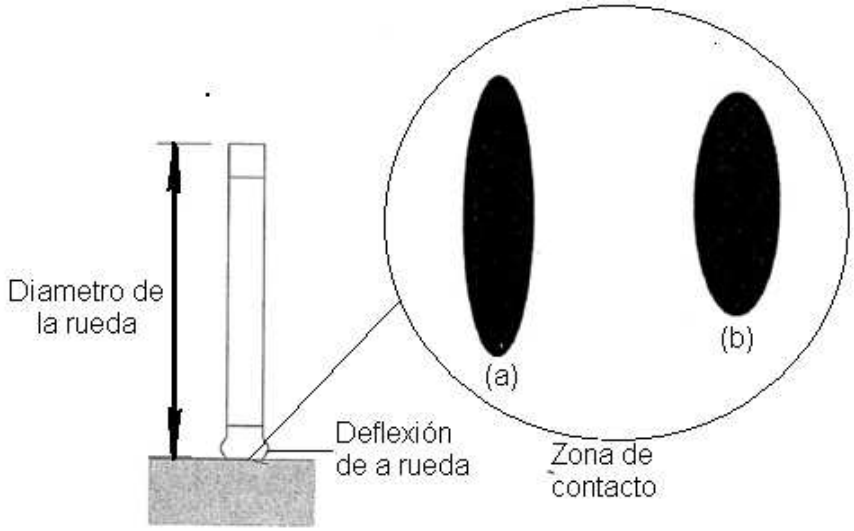


FIGURA2.6 ZONA DE CONTACTO ENTRE LA RUEDA Y EL SUELO (A) RUEDA GRANDE (B) RUEDA PEQUEÑA

Estimación de la Resistencia a la Rodadura

Se decidió utilizar tres puntos de apoyo a manera de tricicleta porque de esta forma se obtiene la menor resistencia a la rodadura posible contando con la estabilidad adecuada para el vehículo. No existe un método estándar de parte de los fabricantes para medir la fuerza de la

resistencia rodadura y es de gran dificultad conseguir información de cómo esta resistencia varía con la velocidad del vehículo, con el diámetro, presión y tipo de llanta, o con respecto al tipo de superficie, es decir se tiene algunas variables que hace muy compleja la obtención de esta fuerza.

Sin embargo existen fórmulas empíricas de cómo calcular dicha resistencia, como por ejemplo, se tiene el comportamiento de la resistencia con respecto a la velocidad del vehículo en la siguiente fórmula.

$$Resistencia\ a\ la\ Rodadura = C_{rr}\left(1 + \frac{V}{161}\right)W\ * \qquad 2.2$$

*Ecuación 2.2 es una aproximación empírica desarrollada por el equipo de vehículos solares de la General Motors.

Donde C_{rr} es el coeficiente adimensional de la resistencia a la rodadura, V es la velocidad del vehículo en Km/h y W es el peso del carro en Newtons (N).

El coeficiente C_{rr} de resistencia a la rodadura se lo obtiene de forma experimental el cual está definido por la relación entre la fuerza F necesaria para hacer que la rueda empiece a girar alrededor de su eje y venza la inercia de esta, la cual tiene un peso W_0 y presión de aire en el interior de P_0.En la figura 2.7 se muestra un esquema del mecanismo usado para determinar la resistencia a la rodadura en las ruedas.

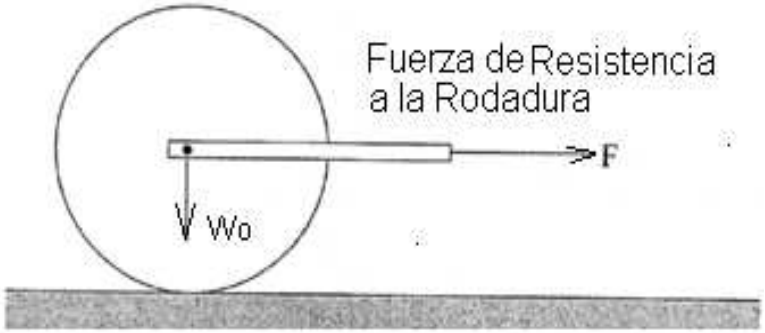


FIGURA 2.7 ESQUEMA DE LA MEDICIÓN DE LA FUERZA DE RESISTENCIA A LA RODADURA

La fuerza F es medida con la ayuda de un dinamómetro para sacar la rueda de la inercia, esta fuerza es proporcional al peso W_o sobre la misma, por lo que se define convenientemente el coeficiente C_{rr} como la constante de proporcionalidad entre la fuerza aplicada a la rueda y el peso sobre esta.

$$C_{rr} = \frac{F}{W_0} \qquad 2.3$$

Para un peso de la rueda de 80N, la fuerza medida con el dinamómetro es de 0.4N por lo que el coeficiente de resistencia a la rodadura es de 0.005, para las condiciones de presión de aire interna de la rueda de 60 psi y con un diámetro de la rueda de 700mm. Considerando el vehículo como un todo la resistencia a la rodadura total es la suma de la resistencia a la rodadura de cada una de las ruedas del vehículo con lo que se tiene.

$$RR = C_{rr}W \qquad 2.4$$

Donde RR es la resistencia a la rodadura total del vehículo.

2.4. Balance de Fuerzas

En condiciones estables de velocidad, ambiente, carretera, invariantes en el tiempo, y sin aceleración del vehículo en la dirección del movimiento de este, la suma de las fuerzas en la dirección de cada eje de coordenadas debe ser igual a cero. En el balance de fuerzas en la dirección del movimiento del vehículo en el eje coordenado x, están presentes las fuerzas de resistencia opuestas al movimiento del vehículo denominadas (FRT).

Fuerzas de Resistencia Totales (FRT)

La Fuerza de Resistencia Total (FRT) determinada por la suma de la resistencia a la rodadura, el arrastre aerodinámico, y la componente del peso del vehículo presente en una pendiente actuando en dirección contraria al movimiento del vehículo, constituyen la carga de tracción necesaria para mover el vehículo sin aceleración y con velocidad constante, está dada por.

$$FRT = C_{rr}W + \frac{1}{2}C_A\rho v^2 A + Wsin\theta \qquad 2.5$$

La suma de estas fuerzas de resistencia al movimiento del vehículo está graficada en la figura siguiente. El coeficiente de resistencia a la rodadura C_{rr} es asumido constante con un valor de 0.005 determinado a partir de la prueba experimental realizada, se considera que el peso total del vehículo será de 200 Kg.

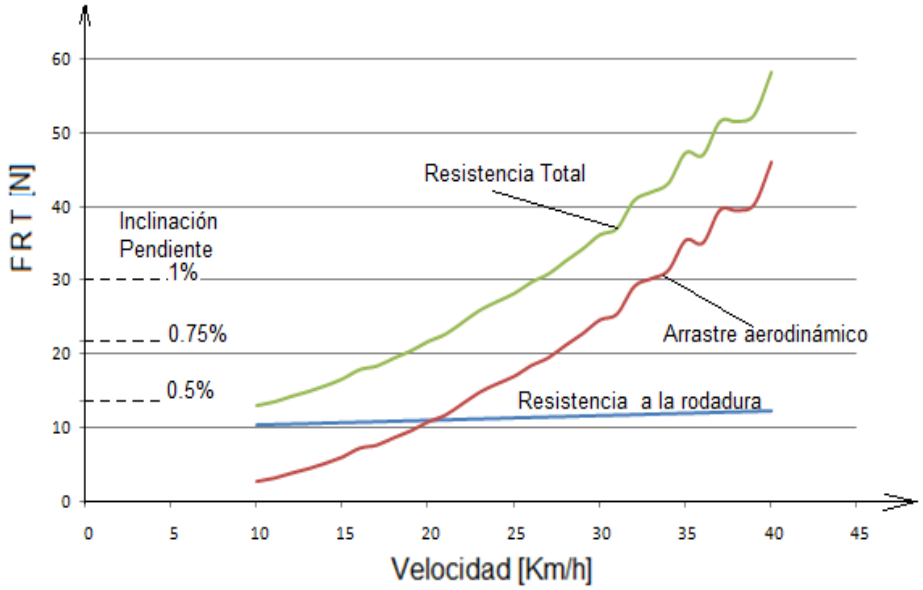


FIGURA 2.8 FUERZAS DE RESISTENCIA EN EL VEHÍCULO

Del gráfico se observa que la FRT aumenta con el cuadrado de la velocidad debido al componente de arrastre aerodinámico, la resistencia a la rodadura se mantiene casi constante y está presente siempre en el movimiento del vehículo. La componente del peso desplaza la curva verticalmente dependiendo del porcentaje de inclinación que tenga la pendiente.

La mayor parte de la resistencia al movimiento esta dado por el arrastre aerodinámico la cual empieza a ser apreciable a altas velocidades, y la componente del peso en la dirección opuesta al movimiento de vehículo

al avanzar por una pendiente, la cual aumenta aproximadamente 35N por cada grado que aumenta la inclinación de la pendiente.

Para determinar la potencia requerida por el vehículo multiplicamos la FTR por la velocidad del mismo en el sistema de unidades coherente para determinar la potencia del motor requerido en Watts.

Fuerza de Tracción

La fuerza de tracción (FT) es la que propulsa el vehículo la cual es entregada por el torque del motor eléctrico y por la transmisión mecánica generada por el conductor del vehículo. Esta fuerza de tracción debe ser igual a la FRT para mover el vehículo con una velocidad constante, la cual depende directamente de la suma de los torques en la rueda posterior que es la rueda motriz del vehículo.

$$FT = \frac{T_m + T_t}{r_r} \qquad 2.6$$

Donde T_m y T_t son el torques del motor eléctrico y el de la transmisión mecánica generada por el conductor, r_r es el radio de la rueda motriz el

cual es de 350mm, no se considera la deformación de la rueda por efecto de carga.

Potencia del Motor

El motor eléctrico es el encargado de proveer el torque necesario para mover el vehículo a una velocidad constante, en condiciones de carga y ambientales (radiación solar, climáticas) estables. El aumento en la carga del vehículo por efecto de la gravedad al avanzar por pendientes debido al relieve de la vía se compensa parte de carga con la adición del torque generado por el conductor a través del sistema de transmisión mecánica piñón-cadena.

Se seleccionó un motor eléctrico DC tipo busheles por las ventajas eléctricas y mecánicas que este presenta para la aplicación en el vehículo solar, además de la configuración que este tiene, el cual es integrado directamente en la rueda motriz del vehículo para producir la propulsión del vehículo. Para la selección del motor también se tiene en cuenta la fuente de alimentación para el mismo, la cual está directamente relacionada con el voltaje del arreglo fotovoltaico de los

paneles solares del vehículo y de las baterías, las cuales permiten estabilizar el voltaje de funcionamiento del sistema eléctrico de potencia en el vehículo, por lo tanto se aprovecha al máximo el área de recepción de la energía solar en los paneles solares, que permiten obtener un voltaje mayor de 48V , el cual permite cargar las baterías a 36V, entonces el voltaje de operación nominal del motor DC Bushless es de 36V.

Para la selección de la potencia del motor se tiene en cuenta la potencia requerida por el vehículo para mantener su velocidad, la cual está dada por la fuerza de resistencia total (FRT) multiplicada por la velocidad del vehículo, de esta forma se obtiene la curva de potencia de la carga requerida por la carga en el vehículo. La velocidad del vehículo está directamente relacionada con la potencia del motor eléctrico, de esta forma se selecciona la curva de potencia del motor DC “brushless” de 500W con un voltaje nominal de 36V, versus la curva de carga del vehículo para determinar la velocidad límite que puede lograr el vehículo. En la tabla 4 se indican los valores característicos.

TABLA 4
VALORES CARACTERÍSTICOS DE MOTOR BRUSHLESS

Descripción	U	I	P1	Tm	n	P2	Eff
	(V)	(A)	(W)	(N.m)	(rpm)	(W)	(%)
Sin Carga.	36.11	1.521	54.93	0.28	343.5	10.07	18.3
Eficiencia Max.	35.90	10.92	392.4	10.24	298.3	319.8	81.4
Potencia salida Max.	35.78	18.43	659.7	18.24	266.1	508.1	77.0
Torque de motor Max.	35.78	18.43	659.7	18.24	266.1	508.1	77.0
Valores Finales.	35.78	18.43	659.7	18.24	266.1	508.1	77.0

En la siguiente figura se compara la curva de carga del vehículo la cual se incrementa con el cuadrado de la velocidad del mismo debido a la componente aerodinámica de la fuerza de resistencia total (FRT), y la curva de potencia del motor la cual disminuye con la velocidad, debido a la relación inversa que existe entre el torque del motor y la velocidad rotacional de este.

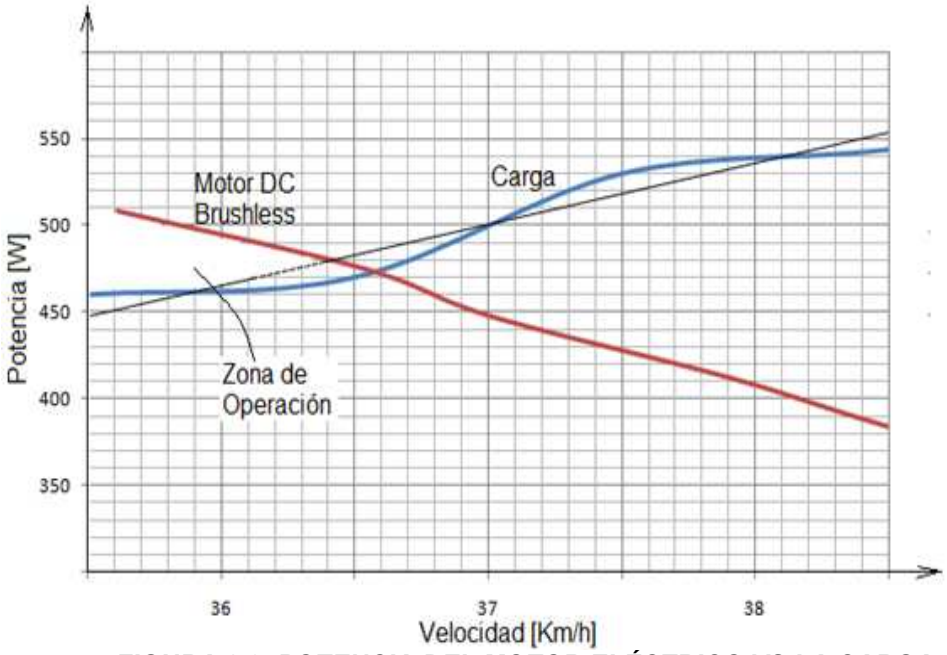


FIGURA 2.9 POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO VS LA CARGA DEL VEHÍCULO

La intersección de ambas curvas da el punto de equilibrio entre la potencia del motor y la potencia requerida por el vehículo para vencer las cargas de resistencia en el mismo, con lo cual se logra la velocidad terminal del vehículo, es decir la máxima velocidad del vehículo en condiciones de carga estables es de 36km/h.

Potencia Humana

La potencia máxima que puede suministrar una persona promedio por largos periodos de tiempo sin sufrir fatiga y con el fin de recuperarse rápidamente en una bicicleta es de 75W y la cadencia de pedaleo para operar en un rango optimo se encuentra entre 20 y 60 rpm de la catalina de la bicicleta, se considera 20 rpm para mantener una cadencia sostenida, y con ello obtener el mayor torque (T_t) en la rueda motriz generado por el conductor a través del sistema de transmisión del vehículo.

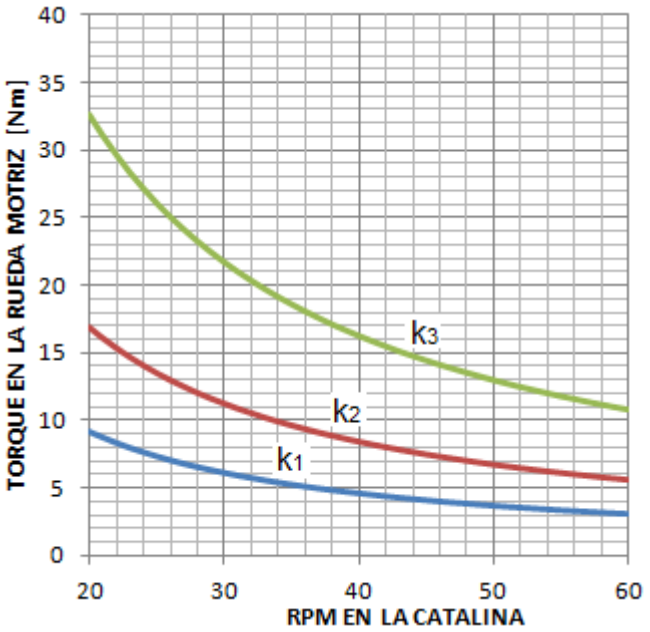


FIGURA 2.10 TORQUE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

En la figura anterior se muestra la familia de curvas de torque en la rueda motriz, logradas con las relaciones de transmisión k_1 k_2 k_3, las cuales dependen de la relación entre número de dientes del piñón en la rueda posterior que es la impulsada y el número de dientes de la catalina que es la impulsora, el cambio de las relaciones de transmisión es efectuado por el conductor a través de las palancas de mando del sistema de transmisión.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL VEHÍCULO SOLAR

3.1. Fundamentos

Esfuerzo y Equilibrio

En la figura siguiente se muestra un cuerpo tridimensional que ocupa un volumen V y tiene una superficie S. Los puntos en el cuerpo están identificados por las coordenada x, y, z. La frontera del cuerpo se restringe a la región donde se especifica el desplazamiento. Sobre una parte de la frontera se aplica una fuerza distribuida por unidad de área **T**, llamada también tracción. Debido a la acción de la fuerza se deforma el cuerpo. La deformación de un punto **x=** [x, y, z] ^{T} esta dado por las tres componentes de su desplazamiento:

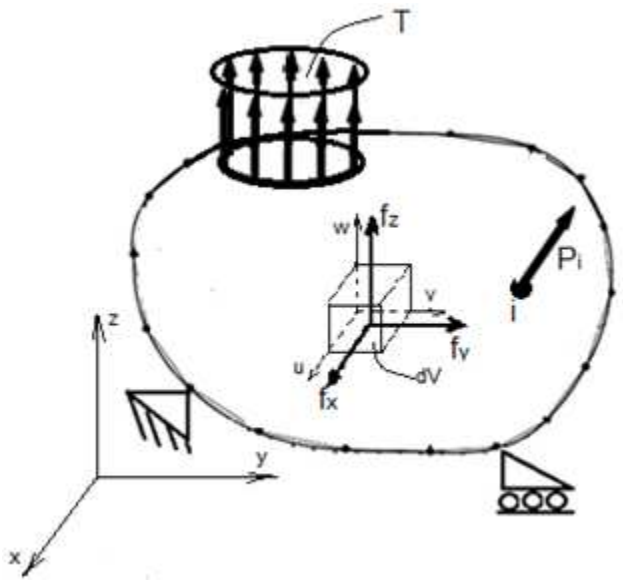


FIGURA 3.1 CUERPO TRIDIMENSIONAL

$$\mathbf{u}= [u, v, w]^T \qquad 3.1$$

La fuerza distribuida por unidad de volumen, llamada fuerza de cuerpo, por ejemplo el peso por unidad de volumen de algún cuerpo es el vector **f** dado por

$$\mathbf{f}= [f_x, f_y, f_z]^T \qquad 3.2$$

En la figura 3.2 se muestra la fuerza de cuerpo actuando sobre el volumen elemental *dV*. La tención **T** puede darse por el valor de sus componentes en puntos sobre la superficie.

$$\mathbf{T}= [T_x, T_y, T_z]^T \qquad 3.3$$

Ejemplos de fuerzas de tracción son las fuerzas de contacto distribuidas, y la acción de la presión. Una carga puntual **P** actuando en un punto i se representa por sus tres componentes.

$$\mathbf{P_i} = [P_x, P_y, P_z]^T \qquad 3.4$$

En la figura 3.2 se muestran los esfuerzos que actúan sobre el volumen elemental *dV.* Cuando el volumen *dV* se contrae a un punto, el tensor de esfuerzos se representa colocando sus componentes en una matriz simétrica (3x3). Sin embargo, representamos los esfuerzos por sus seis componentes independientes como sigue:

$$\boldsymbol{\sigma} = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy},] \qquad 3.5$$

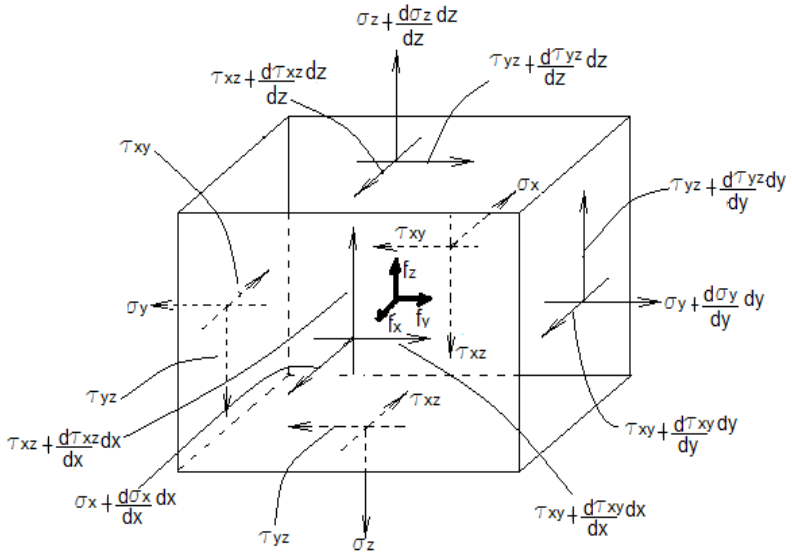


FIGURA 3.2 EQUILIBRIO DE UN VOLUMEN ELEMENTAL DV

Donde σ_x, σ_y, σ_z son los esfuerzos normales y τ_{yz}, τ_{xz}, τ_{xy} son esfuerzos cortantes. Consideremos el equilibrio del volumen elemental mostrado en la figura 3.2. Primero se obtiene las fuerzas sobre las caras multiplicando los esfuerzos por las áreas correspondientes, y aplicando la segunda ley de newton, para un cuerpo sólido en equilibrio estático se tiene que: $\Sigma Fx=0$, $\Sigma Fy=0$, $\Sigma Fz=0$, y recordando que $dV=d_x d_y d_z$ se obtiene las ecuaciones de equilibrio:

$$\frac{\delta\sigma_x}{\delta x}+\frac{\delta\tau_{xy}}{\delta y}+\frac{\delta\tau_{xz}}{\delta z}+f_x=0 \qquad 3.6$$

$$\frac{\delta\tau_{xy}}{\delta x}+\frac{\delta\sigma_y}{\delta y}+\frac{\delta\tau_{yz}}{\delta z}+f_y=0 \qquad 3.6$$

$$\frac{\delta\tau_{xz}}{\delta x}+\frac{\delta\tau_{yz}}{\delta y}+\frac{\delta\sigma_z}{\delta z}+f_z=0 \qquad 3.7$$

Relaciones Deformación Unitaria Desplazamiento.

En la ecuación 3.7 representamos las deformaciones unitarias en una forma vectorial que corresponde a los esfuerzos de la ecuación 3.5 respectivamente

$$\epsilon=\left[\epsilon_x,\epsilon_y,\epsilon_z,\tau_{yz},\tau_{xz},\tau_{xy}\right]^T \qquad 3.8$$

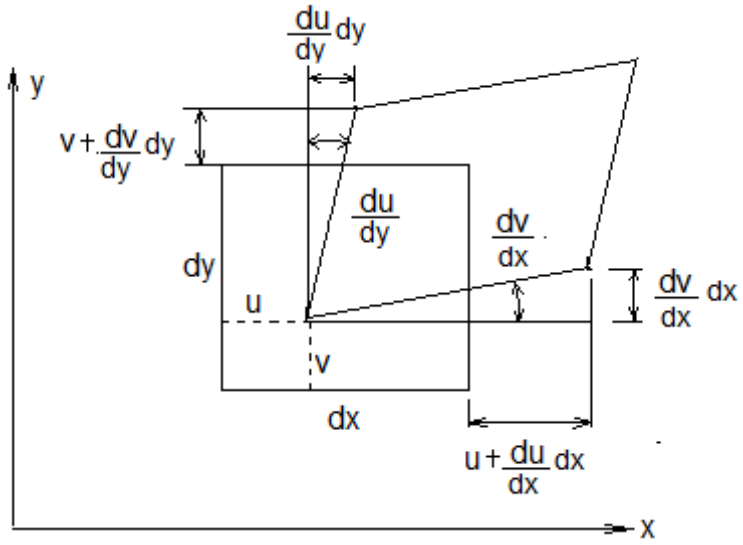


FIGURA 3.3 SUPERFICIE ELEMENTAL DEFORMADA

Donde $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ son las deformaciones unitarias normales y $\gamma_{yz}, \gamma_{xz}, \gamma_{xy}$ son las deformaciones unitarias angulares unitarias cortantes. La figura 3.3 da la deformación de la cara *dx-dy* para pequeñas deformaciones que serán las consideradas aquí. Tomando en cuenta las otras caras, podemos escribir

$$\epsilon = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right]^T \qquad 3.9$$

Relación Esfuerzo - Deformación Unitaria.

Para materiales elásticos lineales, las relaciones esfuerzo deformación unitaria provienen de la ley de Hooke generalizada.

Para materiales isotrópicos las dos propiedades del material son el modulo de Young (o modulo elástico) E y la relación de Poisson (ν). Si se considera el cubo elemental de la figura 3. 1 dentro del cuerpo la Ley de Hooke da como resultado:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_y}{E} - \nu\frac{\sigma_z}{E} \quad 3.10$$

$$\varepsilon_y = -\nu\frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \nu\frac{\sigma_z}{E} \quad 3.11$$

$$\varepsilon_z = -\nu\frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E} \quad 3.12$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad 3.13$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} \quad 3.14$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad 3.15$$

El modulo de corte o modulo de rigidez G esta dado por:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad 3.16$$

De las relaciones de la ley de Hooke ecuaciones 3.10 a 3.12 notamos que:

$$\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = \frac{E}{2(1+\nu)} \left(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z\right) \qquad 3.17$$

Sustituyendo $\left(\sigma_y + \sigma_z\right)$ y otras relaciones, se obtiene la relación inversa

$$\sigma = D\epsilon \qquad 3.18$$

Donde **D** la matriz simétrica de (6x6) del material dado por:

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu \end{bmatrix} \qquad 3.19$$

En una dimensión se tiene esfuerzos normales σ a lo largo del eje x, así como su correspondiente deformación unitaria ϵ. La relación esfuerzo deformación unitaria está dada por $\sigma = E\epsilon$. En dos dimensiones los estados de esfuerzo se modelan como esfuerzo plano y deformación unitaria plana.

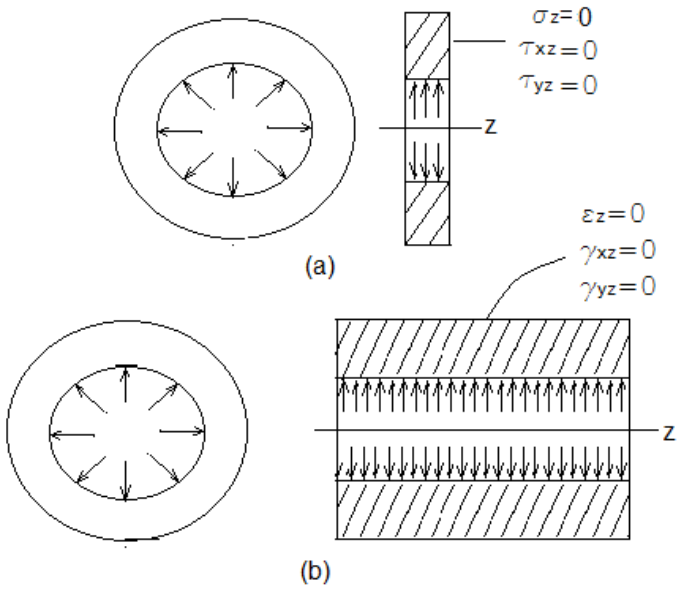


FIGURA 3.4 ESFUERZOS EN DOS DIMENSIONES (A) ESFUERZO PLANO (B) DEFORMACIÓN UNITARIA PLANA

Se dice que un cuerpo plano delgado sometido a carga plana sobre su borde esta en esfuerzo plano (figura 3.4 a), en este caso los esfuerzos $\sigma_z \quad \tau_{xz} \quad \tau_{yz}$ se consideran igual a cero entonces las relaciones de la ley de Hooke quedan:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+v^2)} \begin{bmatrix} 1 & v & 0 \\ v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5(1-v) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \qquad 3.20$$

Si un cuerpo largo plano de sección transversal uniforme está sometido a una carga transversal a lo largo de su longitud, con un espesor

pequeño en el área cargada, puede tratarse como sometido a deformación unitaria plana figura 3.4 b, en la cual ϵ_x , γ_y, γ_{xy} se consideran iguales a cero. El σ_z puede no ser cero, entonces la relación esfuerzo deformación unitaria para este caso queda:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+v)(1-2v)} \begin{bmatrix} 1-v & v & 0 \\ v & 1-v & 0 \\ 0 & 0 & 0.5(1-v) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \qquad 3.21$$

Método de Elementos Finitos

El método de elementos finitos 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, magnéticos, y otros problemas de flujo.

En este método de análisis, una región compleja que define un continuo se secciona con formas geométricas más simples llamadas elementos finitos. Las propiedades del material y las relaciones gobernantes, son consideradas sobre dichos elementos. Las deformaciones de los nodos son expresadas en términos de valores desconocidos.

Un proceso de ensamble de los elementos seccionados, considerando debidamente las cargas y restricciones en el cuerpo, da lugar a un conjunto de ecuaciones cuya solución da el comportamiento aproximado del cuerpo continuo.

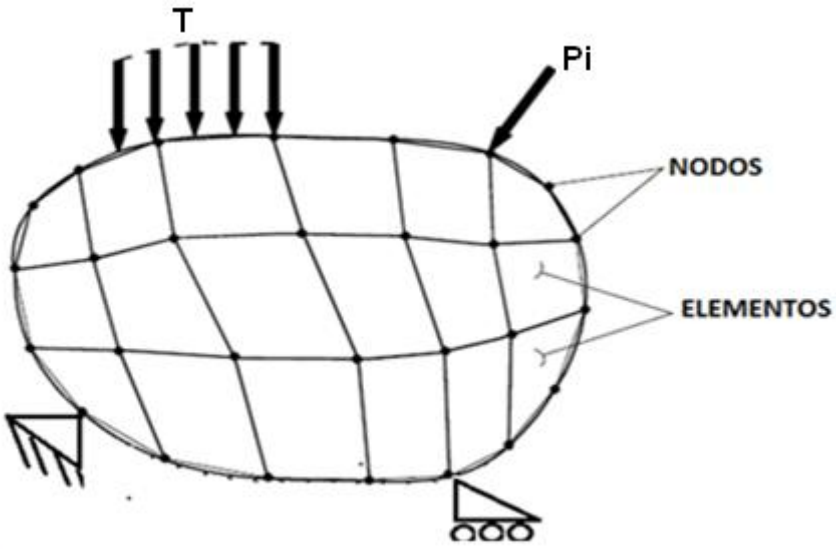


FIGURA 3.5 SECCIONAMIENTO EN ELEMENTOS FINITOS

Programas de Computadora

El uso de computadoras es una parte esencial para el análisis por elemento finito .Para resolver problemas de ingeniería e interpretar los resultados son necesarios programas de computadora desarrollados, como por ejemplo MASTAN2, Visual FEA, ALGOR, SolidWork, Inventor, entre otros que presentan una plataformas de entrada de datos e interfaces grafica para definir el problema físico. Todos los programas de elementos finitos requieren por lo menos alguno de los siguientes aspectos:

- Una definición completa de la geometría del problema.
- El tipo de elemento discreto que formar la estructura o la malla.
- Las propiedades mecánicas y físicas del material.
- Las condiciones de frontera del problema, restricciones de movimiento del conjunto.
- La entrada de cargas al sistema.

La secuencia del procesamiento de datos realizados por el programa para un análisis estático de un problema lineal dado un modelo con un conjunto de restricciones de desplazamiento y cargas aplicadas, es como se describe a continuación:

Primero: se necesita definir las condiciones geométricas, del problema, el número de elementos y nodos, como también el tipo de elemento finito para modelar el problema físico real esto corresponde al pre procesamiento de los datos.

Segundo: el programa construye y resuelve la matriz global de todo el sistema ensamblando las matrices locales formadas con las ecuaciones de equilibrio y con ello calcula las componentes del desplazamiento en cada nodo de los elementos finitos. Esto corresponde al procesamiento de los datos.

Tercero: el programa utiliza el desplazamiento de los nodos para calcular la deformación unitaria, y a partir de la relación esfuerzo

deformación unitaria calcular los esfuerzos en la estructura, que sirven para el análisis en el post proceso.

En la figura 3.6 se indica de forma secuencial en un diagrama de flujo.

FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE FLUJO POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

3.2. Selección de Materiales.

La ventaja competitiva que se pueda lograr con el uso de materiales de gran resistencia y con un bajo peso por unidad de volumen es de gran ayuda para minimizar el peso total del vehículo solar el cual es una parámetro de gran importancia en el diseño del vehículo solar ya que representa la carga misma que debe mover el vehículo por lo que es de

gran ayuda la optimización del mismo. Gracias al avance de la ciencia y tecnología hoy en día se cuenta con una variedad de materiales polímeros, metálicos, o compuestos que permiten optimizar el peso.

Existen materiales cuya resistencia no depende de la dirección en la que se apliquen las cargas estos son llamados materiales isotrópicos como por ejemplo el acero, el aluminio. A diferencia de los ortotrópicos en los cuales las propiedades mecánicas varían dependiendo de la dirección en que se apliquen las cargas, por ejemplo la madera, materiales compuestos reforzados con fibra exhiben este comportamiento ortotrópico. A continuación describimos los diferentes tipos de materiales que pueden ser usados en la estructura del vehículo:

Materiales Compuestos

Los materiales compuestos consisten en la combinación de diferentes tipos de materiales para obtener un nuevo material con mejores propiedades lo cual permite lograr materiales muy livianos para fabricación del chasis, la resistencia del material compuesto es alta dependiendo del proceso usado para fabricarlo como de la técnica y

experiencia en el diseño con materiales compuestos ya que para el análisis estructural se necesita conocer la máxima resistencia del material compuesto y evitar con ello estimaciones extremadamente conservadoras que dan como resultado una estructura de material compuesto demasiado pesada, la ventaja que presentan este tipo de material es la facilidad para construir ya que se le puede dar la forma deseada para la construcción del chasis , una desventaja del este material es su baja rigidez.

Titanio

Elementos fabricados de titanio son usados exitosamente en proyectos de ingeniería tiene muchas otras aplicaciones inclusive en el campo de la salud, por sus altas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. La desventaja que presenta el titanio es su elevado costo y la dificultad que envuelve su soldadura

Aluminio

Un chasis fabricado en aluminio es ligeramente más pesado que uno fabricado en titanio, este es mucho menos costoso y se lo puede conseguir en una amplia gama de perfiles estructurales con varios espesores y además es más fácil de soldar que el titanio; como por ejemplo la aleación de aluminio 6061T6 que tiene una buena soldabilidad, este puede ser soldado con una maquina TIG (tugstene-inert gas) para obtener un buen resultado en su soldadura. La desventaja que presenta es que pueden aparecer grietas en la soldadura por lo que se requiere de una inspección regular dependiendo de la aplicación de carga a la estructura.

TABLA 5
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061-T6

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.900000067e+010	N/m^2
Coeficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.600000013e+010	N/m^2
Densidad de masa	2700	kg/m^3
Límite de tracción	310000002.1	N/m^2
Límite de compresión en X		N/m^2
Límite elástico	275000000.9	N/m^2
Coeficiente de expansión térmica	2.4e-005	/K
Conductividad térmica	166.9	W/(m·K)

Acero

El acero es ampliamente usado en la construcción de estructuras metálica y varios proyectos de ingeniería debido a su alta soldabilidad, gran resistencia, rigidez, bajo costo y la facilidad que existe de encontrarlo en el mercado en varias formas estructurales y en diferentes espesores, pero la principal desventaja frente al aluminio es su peso ya que es aproximadamente tres veces mayor, y además la corrosión que presenta con el tiempo; lo que no lo hace muy competitivo para ser usado en la estructura del chasis del vehículo solar.

3.3. Cargas Aplicadas

El diseño de la estructura del chasis del vehículo solar debe tener la capacidad estructural de resistir las cargas, mantener al mínimo las deformaciones y los esfuerzos producto de las cargas estáticas debidas al efecto de la gravedad, cargas inerciales producidas por los efectos del movimiento del mismo y las desaceleraciones debidas al frenado del vehículo en su conducción.

Las cuales son aplicadas al vehículo en los puntos de apoyo del mismo con la calzada que lo soporta, y transmitidas directamente al chasis el cual debe soportar todos los subsistemas que conforman el vehículo y además brindar la protección al conductor en caso de colisión.

A continuación se detalla los diferentes casos de cargas presentes para el diseño y posterior análisis de la estructural del chasis a través del Método de Elementos Finitos (MEF) con la ayuda del software SolidWork Simulation.

Saltos

Para los saltos del vehículo producidos por las discontinuidades e irregularidades presentes en la carretera por donde circula el vehículo solar se asume una fuerza vertical hacia arriba de tres veces el propio peso de vehículo incluido el peso del conductor, la cual está dividida entre los tres puntos de apoyo del vehículo con la calzada, las cuales son transmitidas directamente por los elementos de unión de las ruedas al chasis a través de la suspensión.

En la figura 3.7 se muestra las fuerza Fz actuando en cada rueda del vehículo hacia arriba producto de la reacción del la calzada contra la rueda del vehículo al chocar con esta. El momento generado por esta fuerza no se transmite a la estructura del chasis debido a los pivotes de la suspensión en el chasis.

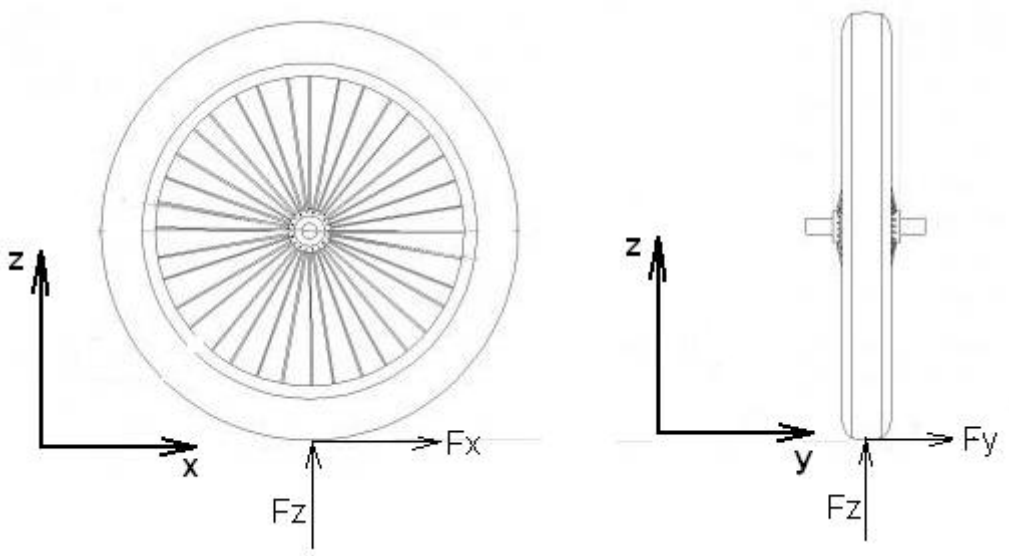


FIGURA 3.7 FUERZAS APLICADAS EN LOS PUNTOS DE APOYO DEL VEHÍCULO

Frenado

Debido a la desaceleración (d) del vehículo que se produce al momento de aplicar los frenos del mismo para disminuir su velocidad en las maniobras realizadas por el conductor o en caso que se requiera una parada de emergencia, esta fuerza generada es opuesta a la dirección

del movimiento del vehículo y esta aplicada en los puntos de contacto de las ruedas con la calzada debido a la fricción que existe entre estas dos superficies.

Para considerar en la estructura del chasis del vehículo la fuerza producida por el efecto de la inercia que tiene el mismo al momento del frenado, se considera un valor de desaceleración del vehículo de 1g para el cálculo de esta fuerza la cual esta aplicada en el centro de gravedad del vehículo y transmitida directamente a la estructura del chasis.

También existe la presencia de un momento flector en la estructura del chasis donde se acoplan los elementos de unión de la ruedas frontales con el mismo, debido a la fuerzas F_{xa} en cada rueda delantera mostradas en la figura 3.8 debidas a la fricción, en la dirección opuesta a la dirección del movimiento del vehículo, y ubicada en el plano central de cada ruedas frontal paralelo al plano central del chasis, separados una distancia (y_a) la cual depende de los elementos de unión

entre las ruedas y el chasis, para simplificar el cálculo del momento flector generado, se considera una distancia de 300mm

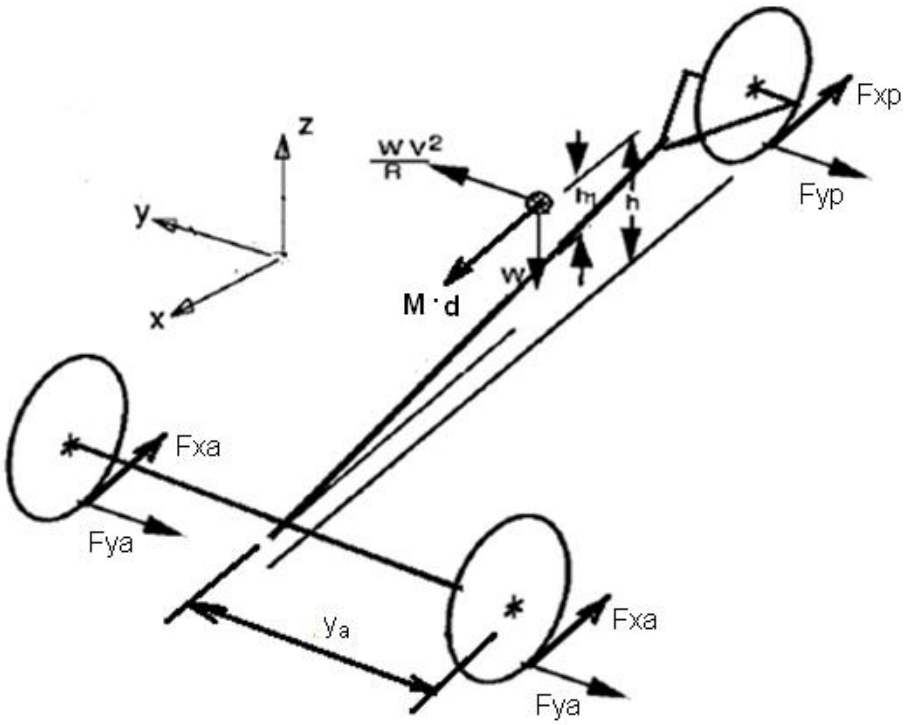


FIGURA 3.8 FUERZAS INERCIALES EN LA ESTRUCTURA DEL VEHÍCULO

Giro en Curvas

Para tomar en cuenta el efecto de la fuerza normal a la trayectoria en un giro del vehículo solar producto de la aceleración normal que está presente en el cambio de dirección de un cuerpo y es proporcional al

cuadrado de la velocidad del mismo e inversamente proporcional al radio de giro de la curva, se considera el valor de 1g como el valor de la aceleración,

Esta fuerza transversal a la trayectoria del vehículo es asumida igual al peso total del vehículo y transmitida directamente al chasis en la parte central del mismo. En la figura 3.8 se muestran esta fuerza y las fuerzas en las ruedas F_{ya}, F_{yp} que equilibra la fuerza normal a la trayectoria del vehículo para evitar el derrape lateral del mismo en una curva, ubicadas en la zona de contacto entre la rueda y la calzada.

Cargas Estáticas

Adema de las cargas mencionadas anterior mente están las cargas estáticas aplicadas a la estructura del chasis como el peso de la carrocería que protege al conductor y sirve de soporte para montar los paneles solares, el cual es asumido como el 50% del peso del vehículo y aplicada proporcionalmente de forma puntual en los puntos de apoyo con el chasis, además el peso del conductor que por condiciones establecidas por los organizadores de la carrea debe ser de 80kgf el

cual debe cumplirse exactamente como requisito, y que en caso de ser menor procederá a completarse con pesas por parte de los organizadores de la competencia .

3.4. Diseño del Chasis.

Los principales aspectos considerados para el diseño del chasis del vehículo solar son proveer una estructura con un alto valor del cociente resistencia /peso; es decir tener la más alta resistencia con el mínimo de elementos que conforman la estructura del chasis sin comprometer la seguridad de la misma, además de tener los puntos de acople para los sub sistemas conectados al chasis y proveer la ubicación adecuada de los componentes del vehículo para mantener balanceado el peso del vehículo solar sobre los puntos de apoyo.

Forma de la Estructura del Vehículo

En la actualidad se dispone de varios software de CAD para el modelado paramétrico, orientados al diseño mecánico, que brindan gran ayuda en el desarrollo de proyectos, debido a sus múltiples y variadas

herramientas que estos incluyen, las cuales reducen el tiempo de elaboración de bocetos, la facilidad para realizar modificaciones, además de las funciones de análisis y optimización del diseño

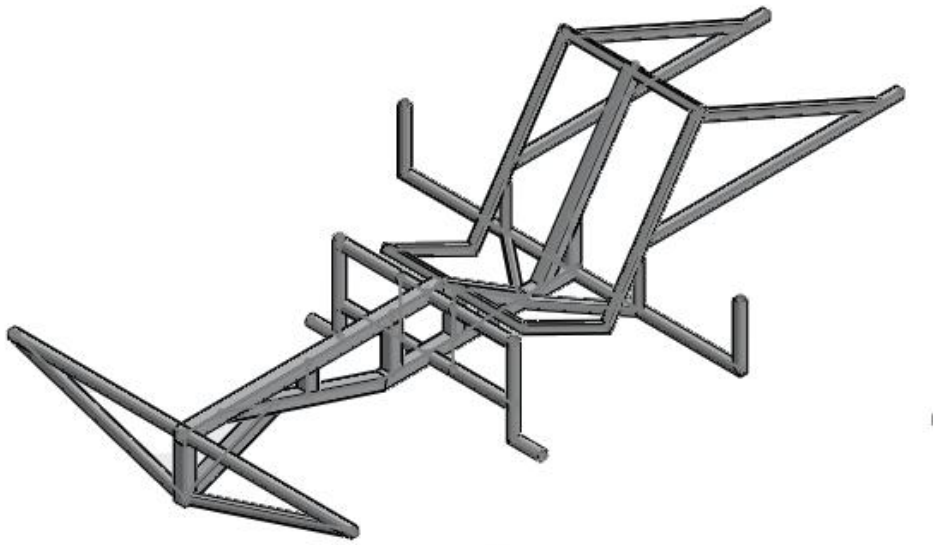


FIGURA 3.9 CAD DE LA FORMA PRELIMINAR DEL CHASIS

En la figura 3.9 se muestra la forma del diseño preliminar de la estructura del chasis, la misma que esta formar por perfiles tubulares de aluminio disponibles en el mercado por la facilidad que brindan estos para lograr una forma que se adapten a los requerimientos necesarios para el desarrollo del vehículo solar .

Las dimensiones máximas del chasis se detallan a continuación:

- Ancho máximo 1100 mm
- Largo máximo 2200mm
- Alto máximo 530mm

Parámetros Considerados en el Diseño de la Estructura del Chasis.

Existen varios aspectos importantes a tomar en cuenta en el desarrollo de la estructura del chasis del vehículo solar como son la ubicación del centro de masa del vehículo, la distribución controlada de los pesos para evitar distorsiones o esfuerzos localizados debido a los componentes, la distancia de separación entre los ejes de las ruedas, la estabilidad para una fácil maniobrabilidad, los elementos de acople y sujeción de los subsistemas de suspensión, dirección, y frenos con el chasis, la distribución del pesos de los componentes eléctricos y mecánicos, el aspecto ergonómico para confort del conductor. Es importante considerar en el diseño general del vehículo solar tener un centro de masa lo más bajo posible para brindar mayor estabilidad al vehículo y con ello un mejor desempeño del mismo. La posición original del centro

de masa no varía en gran medida ya que no está sometido a cargas extras como equipajes u otros.

Los elementos que conforman la estructura del chasis deben tener la resistencia y rigidez suficiente para tener la menor deformación posible. Las zonas donde se encuentran concentradas las cargas deben ser reforzadas a fin de evitar fallas en el material. En caso de colisión los elementos de soporte deben ser colocados de manera que absorban la mayor energía del impacto y asegurar una deformación de manera segura.

El material del elemento que componen los elementos estructurales del chasis así como también su geometría debe optimizarse, con el fin de tener el menor peso posible y no tener material en exceso en lugares donde no es necesario, sin comprometer la seguridad de la estructura.

Propiedades de la Estructura

La estructura del chasis diseñada para el vehículo solar es un marco tridimensional o también llamado marco espacial, que es unas estructuras con miembros conectados rígidamente los mismos que tienen 6 gradados de libertad, con deformaciones lineales y rotacionales, el cual soporta toda la carga del vehículo, como también las fuerzas externas aplicadas a la carrocería.

Análisis Estructural del Chasis del Vehículo Solar.

Es muy importante recalcar la importancia de la estructura del vehículo solar ya que además de mantener unidos los componentes que conforman el vehículo solar debe proteger la integridad física del conductor, por lo que es necesario y de gran ayuda para la decisión del diseño final de la estructura el análisis de las cargas aplicadas al vehículo solar.

Con la ayuda de la herramienta SolidiWork Simulation que permite realizar un estudio de la estructural a través del uso del Método de

Elementos Finitos y obtener resultados de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad de la estructura para tener un visión general aproximada de los valores máximos, y permitan tomar decisiones en el diseño.

Condiciones de Borde de la Estructura

Son las condiciones de desplazamiento que hay en la frontera del sólido las cuales evitan que el cuerpo este flotando en el aire y este asegurado a algo como ocurre en la realidad, en la figura 3.10 se muestra los nodos c, g, q donde están aplicadas las restricciones al movimiento impuestas a la estructura para fijar la estructura. En estos tres nodos de la estructura el desplazamiento lineal en todas las direcciones igual a cero.

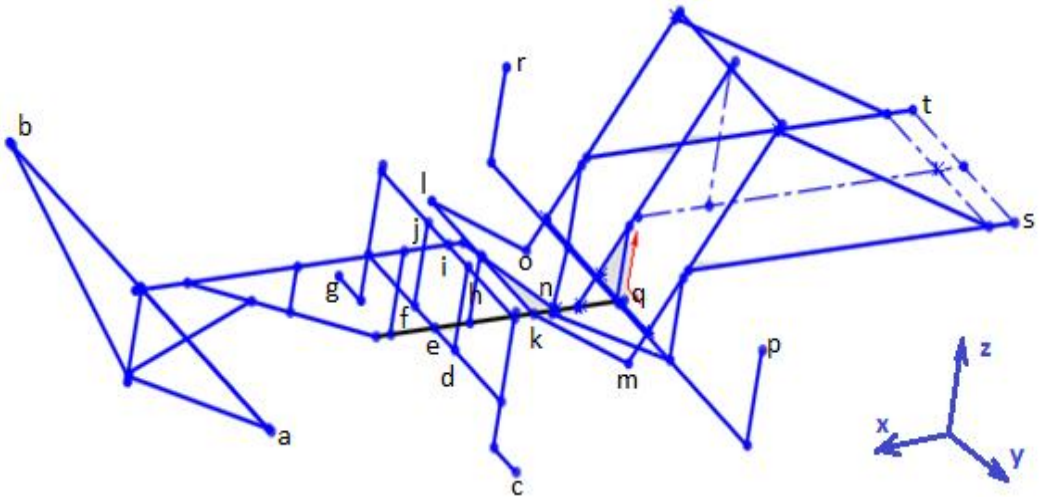


FIGURA 3.10 ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DEL CHASIS

Cargas Aplicadas a la Estructura.

Para el análisis estructural del chasis se considera las cargas debidas a saltos del vehículo, giro en curvas, y las producidas por la acción del frenado, además del efecto de la gravedad en la estructura.

- Un fuerza puntual vertical hacia abajo de 98N correspondiente al peso de la carrocería en cada uno de los nodos a, b, p, r, s, t donde se apoya esta con el chasis.

- Una fuerza vertical hacia abajo de 800N dividida uniformemente entre los nodos k, l, m, o correspondiente al peso del conductor.

- Una fuerza de 490N en la dirección del eje x aplicada en cada nodo d, f, h, j debido a la inercia que lleva el vehículo al momento de aplicar los frenos para detenerlo.

- Un momento flector de 290Nm en los nodos d, f, h, j alrededor del eje z producido por la fuerza de fricción en las ruedas frontales.

- Una fuerza lateral en la dirección del eje y de 1.9KN producto de la aceleración normal a la trayectoria del vehículo, presente en una curva, aplicada en el nodo n ubicado en la barra central del chasis debajo del asiento del piloto.

- Una fuerza vertical hacia arriba de 588N aplicada en cada uno de los nodos d, f, h, j debido a algún salto del vehículo producido por discontinuidades o baches en la calzada.

Mallado de la Estructura del Chasis.

El mallado de la estructura se realizo con elementos tipo viga que soportan esfuerzos axiales, de flexión y torsión presentes en la estructura, la malla está conformada de 491 elementos tipo viga con 520 nodos para lograr una buena aproximación, lo cual es un número suficientemente grande para el cálculo manual de las deformaciones por lo que es de mucha ayuda el uso de la computadora para encontrar la solución de las deformaciones lineales y rotacionales en cada nodo y de ahí los esfuerzos producidos en la estructura.

En la figura siguiente se muestra una imagen de la estructura del chasis realizada con el software SolidWork la cual esta seccionada con elementos finitos tipo viga.

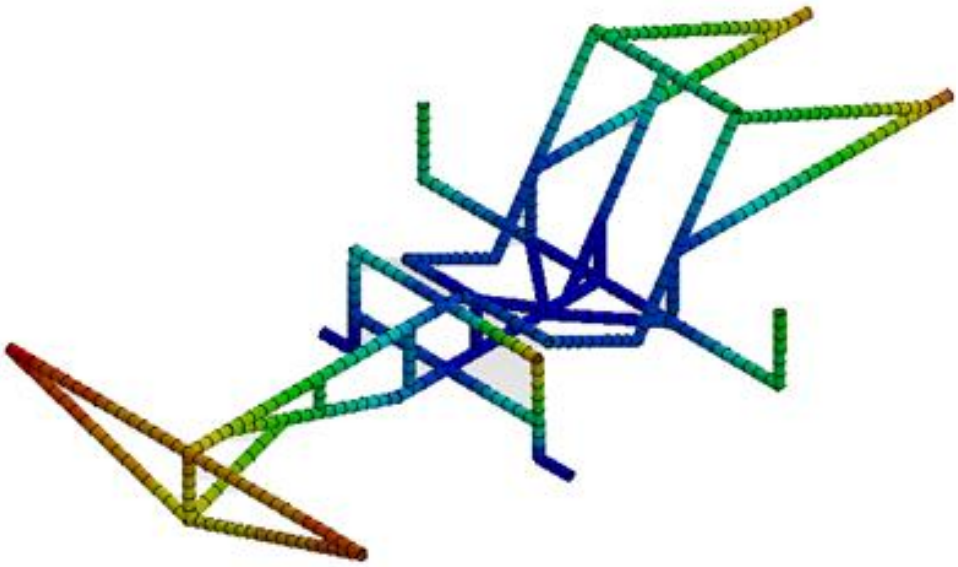


FIGURA 3.11 SECCIONAMIENTO CON ELEMENTOS TIPO VIGA

3.5. Diseño de la Carrocería

La carrocería del vehículo solar es la parte exterior que protege al conductor en su interior de las condiciones climáticas presentes en el exterior, y de posibles colisione, además es la que le da la apariencia que este tendrá, la cual en su parte superior está cubierta paneles solares fotovoltaicos que transforman la energía solar en energética eléctrica para el funcionamiento del vehículo solar.

Las dimensiones máximas exteriores del vehículo solar, son especificadas por la organización en las bases de la competencia las mismas que por ningún motivo deben ser excedidas lo cual será motivo de descalificación y serán evaluadas en las clasificatorias previas a la competencia.

Forma de la Carrocería.

Para llegar a la forma final que tendría el vehículo solar se busco y probó con varios modelos buscando siempre obtener el mejor resultado posible, y teniendo en cuenta las posibles dificultades para su construcción como además aspectos técnicos aprovechables para la competencia.

Se inició con un modelo inicial de vehículo solar propuesto en la figura 3.12 el cual consta básicamente de una superficie cuasi plana en la cual descansan las celdas fotovoltaicas y con una cúpula para proteger la cabeza del piloto de las condiciones externas, tales como el viento, el polvo, y la radiación solar; este modelo fue evolucionando poco a poco debido a las limitaciones presentes en su construcción y dificultades

encontradas como por ejemplo el tiempo de salida del conductor desde el interior del vehículo, las mismas que están estipuladas en las bases de la competencia y no tiene que ser mayor a 12seg el tiempo que le toma al conductor salir del vehículo.

FIGURA 3.12 DISEÑO DE FORMA INICIAL DEL VEHÍCULO SOLAR

Luego de tener la idea general de la forma del vehículo se buscó un diseño de forma el cual ya ha sido desarrollado por el Comité de Consultoría Nacional de Aeronáutica de los Estados Unidos por sus siglas en inglés NACA que con su serie 66 garantiza flujo laminar sobre la mayoría de la superficie, determinando de esta manera una baja

resistencia aerodinámica. Se encontraron los puntos para una forma simétrica y una forma curvada los cuales vemos graficados en la siguiente figura.

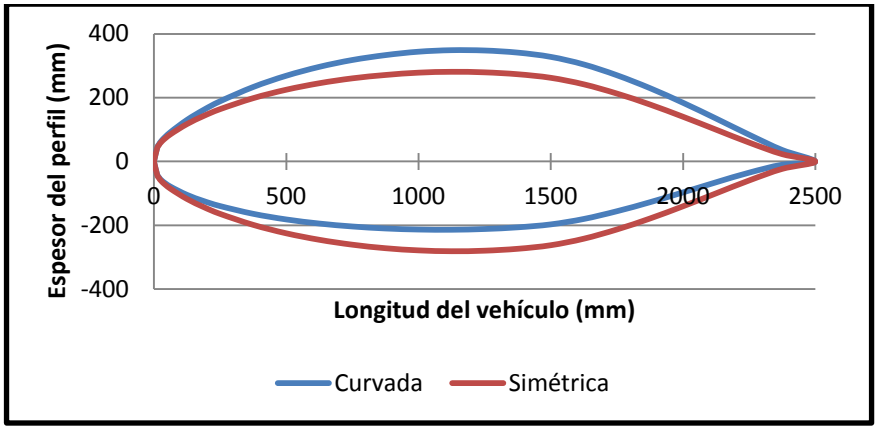


FIGURA 3.13 FORMA DEL PERFIL DEL VEHÍCULO AERODINÁMICO SIMÉTRICA Y CURVADA DE LA SERIE NACA 66

Finalmente este diseño de forma se ve representado en las siguientes figuras.

FIGURA 3.14 VISTA ISOMÉTRICA DEL DISEÑO DE FORMA 2

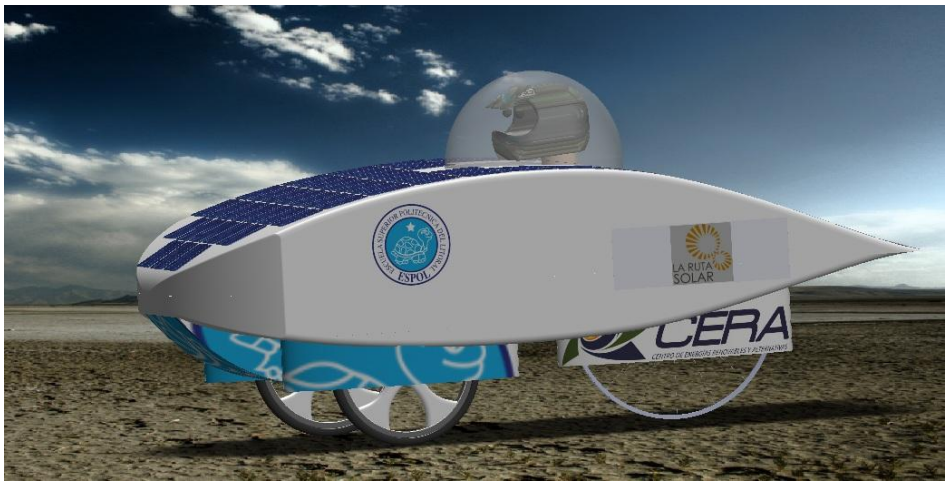


FIGURA 3.15 PERSPECTIVA DEL DISEÑO DE FORMA 2

El principal problema con el diseño 2 fue que debido a la curvatura de su superficie, se corría el riesgo de fractura de las celdas fotovoltaicas al curvarlas, para dar la formas suave de la curva; es por esto que en el tercer diseño de forma la parte superior de la carrocería se la dividió en

tres secciones rectas y evitar de esta forma este problema como se muestra en la figura 3.16.

FIGURA 3.16 REDENDERIZADO DEL DISEÑO DE FORMA 3

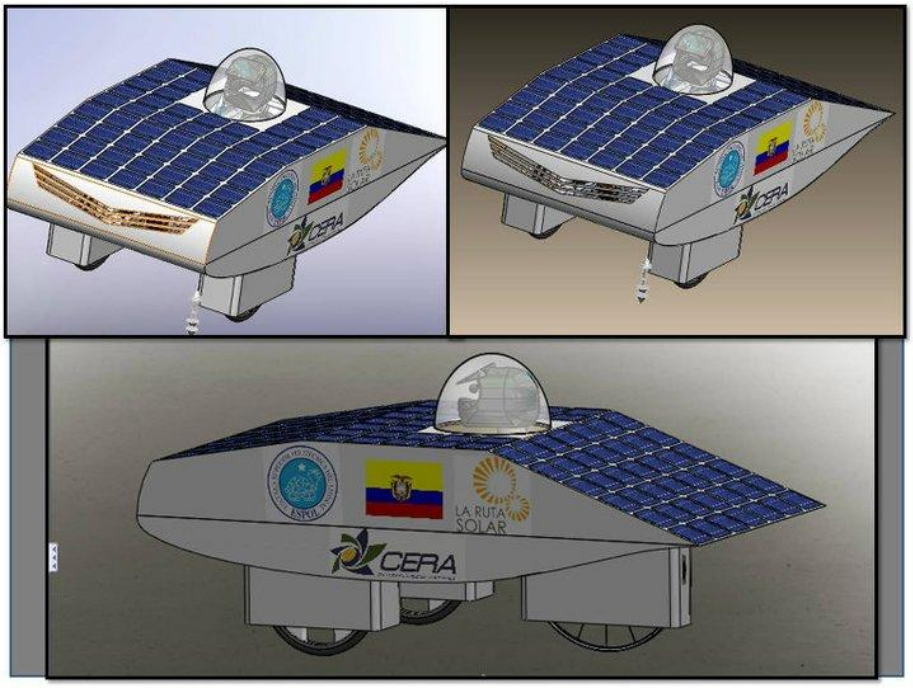


FIGURA 3.17 PERSPECTIVAS DEL DISEÑO DE FORMA 3

Finalmente se decidió adoptar la forma poligonal que tiene el vehículo solar por las ventajas y facilidades que tiene esta geometría para la protección del piloto y el aprovechamiento de la energía solar ocupando al máximo el área superior del vehículo, la cual está compuesta de tres secciones cubiertas por los paneles fotovoltaicos dos de los cuales, el panel anterior y posterior tienen una pendiente con un ángulos de inclinación determinado en base a la posición del sol, en el lugar de la carrera permite aprovechar la incidencia de los rayos solares al máximo y con ello obtener la mayor cantidad de energía para el vehículo solar, lo cual es de gran ventaja competitiva.

Por otra parte en las secciones laterales se implemento un diseño innovador que se trata de un sistema de aletas con una forma aerodinámica que aprovecha los vientos cruzados generando un empuje hacia adelante.

FIGURA 3.18 PERSPECTIVAS DEL DISEÑO FINAL DE LA CARROCERÍA

Para aprovechas la energía del viento existente en ciertas zonas del recorrido por donde se realiza la competencia, en las cuales se encuentra vientos de hasta 12m/s; se pensó en el aprovechamiento de la fuerza de sustentación utilizada por los aviones producida por la diferencia de presiones que se forma en la parte superior e inferior del ala del avión debido a la forma especial de esta, siendo mayor la longitud de recorrido para el viento en la parte superior de esta , lo cual provoca que el aire circundante en la parte superior se acelere, y de esta forma el consecuente aumento en la velocidad del aire en la parte superior del ala, provocando de esta manera la disminución de presión, esta diferencia de presiones en el ala del avión crea una fuerza resultante hacia arriba lo que permite que el avión se sustente en el aire.

Con la idea de tener un diseño innovador y original del vehículo, en base a las condiciones de la competencia y teniendo en cuenta el principio de sustentación de los aviones se pensó en la implementación de aeroformas tipo persianas abatibles en los laterales del vehículo, que permita con la presencia de viento transversal obtener esta fuerza de reacción ya que es perpendicular a la dirección del viento.

Con ello usar a favor la energía del viento aplicándola directamente al movimiento del vehículo. En la siguiente figura se muestra la disposición de las aeroformas en los laterales del vehículo, las cuales son controladas de forma manual por el conductor.

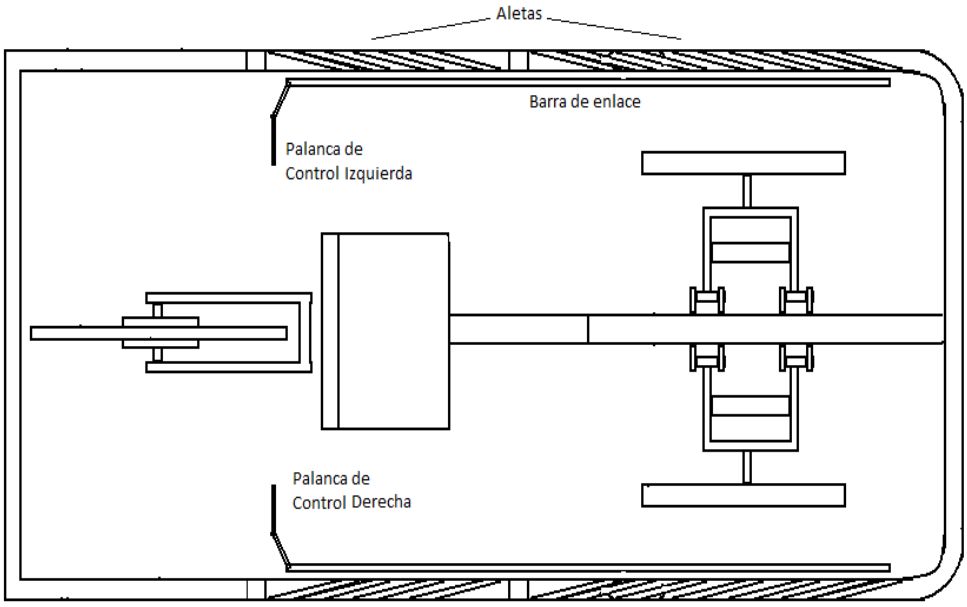


FIGURA 3.19 ESQUEMA DEL SISTEMA DE ALETAS AERODINÁMICAS

Se tiene un total de 34 aeroformas ubicadas en los laterales de la carrocería, dispuestas de la siguiente manera 6 de igual longitud en la parte central y 11 escalonadas en la parte delantera debido a la inclinación que presenta el vehículo en la parte delantera.

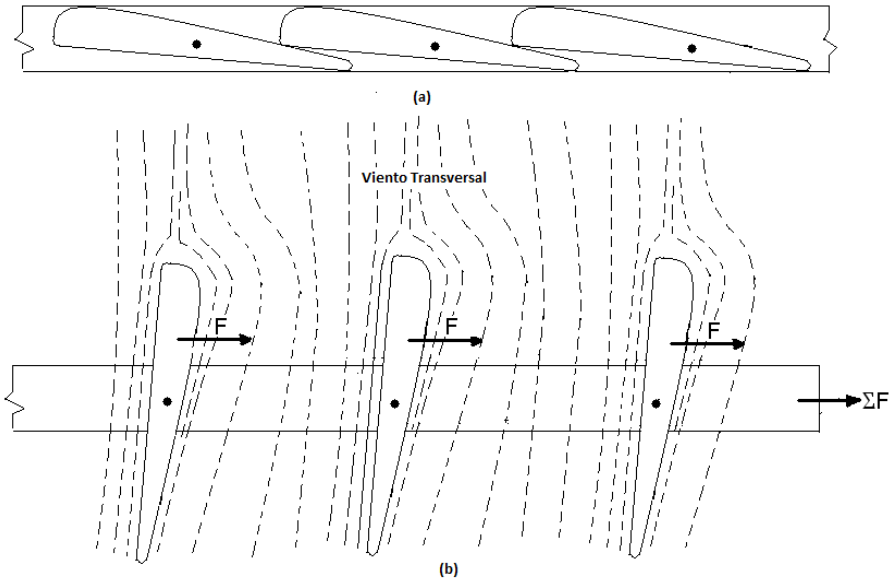


FIGURA 3.20 ESQUEMA DE LAS AERO-FORMAS TIPO PERSIANA (A) CERRADAS (B) ABIERTAS

El la figura 3.20 (a) se muestra el arreglo de las aeroformas tipo persiana en forma cerrada para cubrir los laterales del vehículo, y proveer el área lateral para publicidad. Para el aprovechamiento de la fuerza de reacción F en cada aeroforma mostrada en la figura 3.20 (b),

se debe abatir gradualmente hasta alinearlas con la dirección del viento transversal y de esta forma obtener una fuerza resultante en la dirección de avance del vehículo este proceso, es realizado a través de un mecanismo de barras articuladas, que permite abrir simultáneamente las aeroformas en cada lado.

CAPÍTULO 4

4. SISTEMAS MECÁNICOS DEL VEHÍCULO SOLAR

Los principales sistemas que conforman el vehículo solar son la suspensión, dirección, frenos, transmisión mecánica de potencia humana, ruedas, los cuales son de gran importancia para el correcto funcionamiento y desempeño óptimo del mismo, ya que ayudan a la comodidad, control y seguridad para el conductor en las maniobras necesarias en el tránsito vehicular por vías adecuadas para su circulación, el cual debe cumplir las normas y reglamentos de las leyes de tránsito vigentes en el país para este tipo de vehículo motorizado.

Estos sistemas están formados por mecanismos simples de movimiento plano, como por ejemplo la suspensión que es un mecanismo de cuatro barras articuladas con n grados de libertad, que absorbe las irregularidad existentes en la vía por donde circula el vehículo, además también está conformado por máquinas simples que permiten modificar la magnitud de la fuerza, su dirección, la longitud de desplazamiento o una combinación de ellas que son indispensables para el control del vehículo, como por ejemplo la palanca y la rueda que son de gran ayuda en el diseño del vehículo solar.

4.1. Sistema de Dirección.

La función del sistema de dirección es responder a las acciones realizadas por el conductor para direccionar y mantener el control del vehículo por el rumbo que se desee llevar, girando las ruedas frontales en ángulos diferentes en cada rueda para evitar que, la que este en el lado exterior de la curva se arrastre debido a la diferencia de radios de giro que tienen cada rueda al tomar la curva.

El diseño del sistema de dirección debe tomar en cuenta esta diferencia entre los ángulos de giro de cada una de las ruedas frontales, por lo que

la geometría del mecanismo usada para el accionamiento de la dirección tiene la forma trapezoidal permitiendo así el retraso del ángulo de giro de la llanta del lado exterior de la curva ya que es menor al ángulo de giro de la rueda que se encuentra en el lado interior de la curva.

La geometría Ackerman es un arreglo de los vínculos que intervienen en el sistema de dirección del vehículo, diseñada para resolver el problema de las ruedas para trazar círculos de diferentes radios, lo que permite girar la rueda interna un ángulo mayor al ángulo de giro de la rueda exterior, en la figura 4.1 se muestra la disposición de la geometría Ackerman.

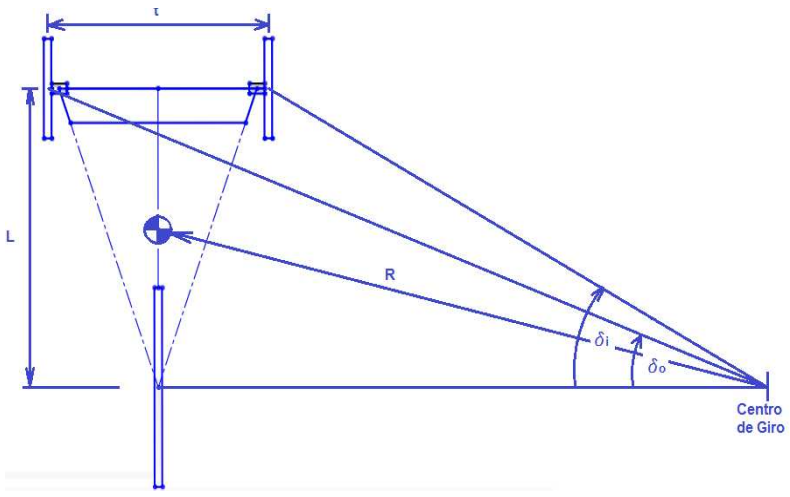


FIGURA 4.1 GEOMETRÍA ACKERMAN

Para pequeños ángulos de giro de las ruedas frontales, como es el caso en curvas no muy cerradas, el valor del arco-tangente del ángulo es aproximadamente al valor del mismo ángulo expresado en radianes, por lo que podemos escribir en base a la geometría formada en la figura 4.1 las siguientes fórmulas.

$$\delta_o = tan^{-1}\frac{L}{(R+{}^{t}/_{2})} \cong \frac{L}{(R+{}^{t}/_{2})} \qquad 4.1$$

$$\delta_i = tan^{-1}\frac{L}{(R-{}^{t}/_{2})} \cong \frac{L}{(R-{}^{t}/_{2})} \qquad 4.2$$

La geometría Ackerman es muy compleja de desarrollar, un diseño sencillo y de bajo peso es lo que se busca en los componentes que conforman los sistemas del vehículo, es por esto que, lo más práctico y sencillo es hacer la aproximación a través del arreglo trapezoidal de los elementos que conforman el sistema de dirección, como se ve en la figura 4.2.

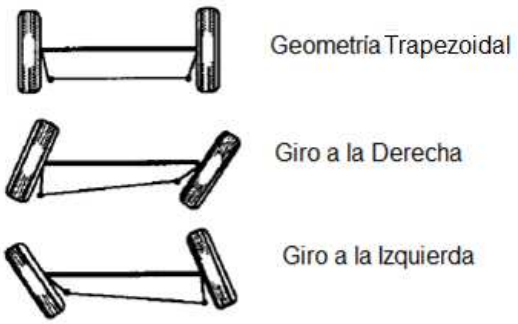


FIGURA 4.2 GEOMETRÍA DEL MECANISMO DE DIRECCIÓN

Mecanismo de la Dirección.

El mecanismo trapezoidal usado en el diseño del sistema de dirección del vehículo es una cadena cinemática simple, de cuatro barras la cual permite tener una aproximación cercana de los ángulos que debe tener cada rueda frontal para dirigir al vehículo a través de las curvas, y evitar el desgaste excesivo de la banda de rodadura, además de los esfuerzos innecesarios por el arrastre que sufren las ruedas debido a la diferencia de ángulos con las que estas deben girar al tomar una curva.

Análisis de posición del Mecanismo de la Dirección.

El mecanismo de cuatro barras mostrado en la figura 4.3, donde a, b, c, d denotan las longitudes de los eslabones 1, 2, 3, 4, respectivamente, en este caso se tiene que b es igual a d.

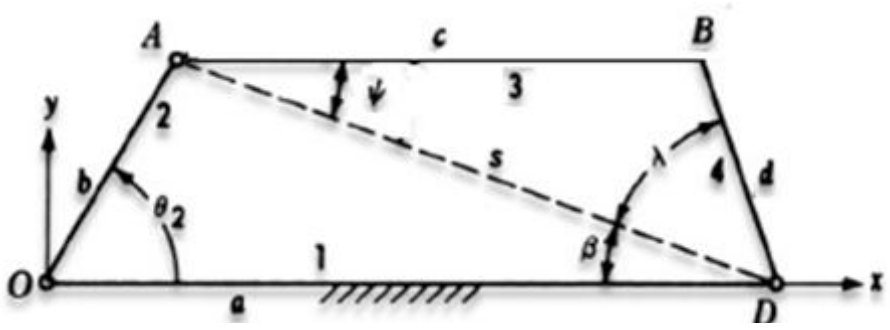


FIGURA 4.3 MECANISMO DE CUATRO BARRAS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

El eslabón 1 representa el eslabón fijo que está conformado por el chasis del vehículo y los brazos de la suspensión. Para el análisis de posición del mecanismo se considera el ángulo θ_2 del eslabón 2 con respecto a la horizontal es una variable controlada, la cual representa el ángulo de giro del manubrio por el conductor del vehículo para direccionarlo, y es considerado positivo cuando se mide en el sentido contrario de las manecillas del reloj.

La longitud de la diagonal desde A a D está denotada por s y el ángulo que esta forma con la línea OD, que corresponde a la línea imaginaria entre los pivotes de la dirección es denotado por β. Considerando el triángulo OAD se tiene.

$$s = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos(\theta_2)} \quad 4.3$$

$$\frac{\sin(\beta)}{b} = \frac{\sin(\theta_2)}{s} \quad 4.4$$

$$\beta = sin^{-1}\left(\frac{b}{s}\sin(\theta_2)\right) \quad 4.5$$

Para el triángulo ABD se cumplen las siguientes relaciones

$$. d^2 = c^2 + s^2 - 2cs\cos\psi \quad 4.6$$

$$\psi = cos^{-1}\left(\frac{b^2+s^2-d^2}{2cs}\right) \quad 4.7$$

$$\frac{\sin(\lambda)}{c} = \frac{\sin(\psi)}{d} \quad 4.8$$

$$\lambda = sin^{-1}\left(\frac{c}{d}\sin(\psi)\right) \quad 4.9$$

Por observación de la configuración particular del mecanismo trapezoidal del sistema de dirección, es notable ver que el ángulo de giro del eslabón d, que es igual al ángulo de giro generado en la rueda de ese lado producto del giro del ángulo θ_2, que es el ángulo girado por el conductor en la rueda del lado contrario, es igual a la suma de los ángulos β y λ.

Se puede variar las dimensiones de los eslabones del mecanismo a través de la implementación desde la ecuación 4.3 hacia la 4.9 del mecanismo trapezoidal, para observar su comportamiento en los ángulos de giro de cada rueda frontal y con ello fijar los parámetros dimensionales para el diseño de estos elementos del mecanismo de dirección, ya que todos los dispositivos de dirección son aproximaciones estrechas de la condición ideal.

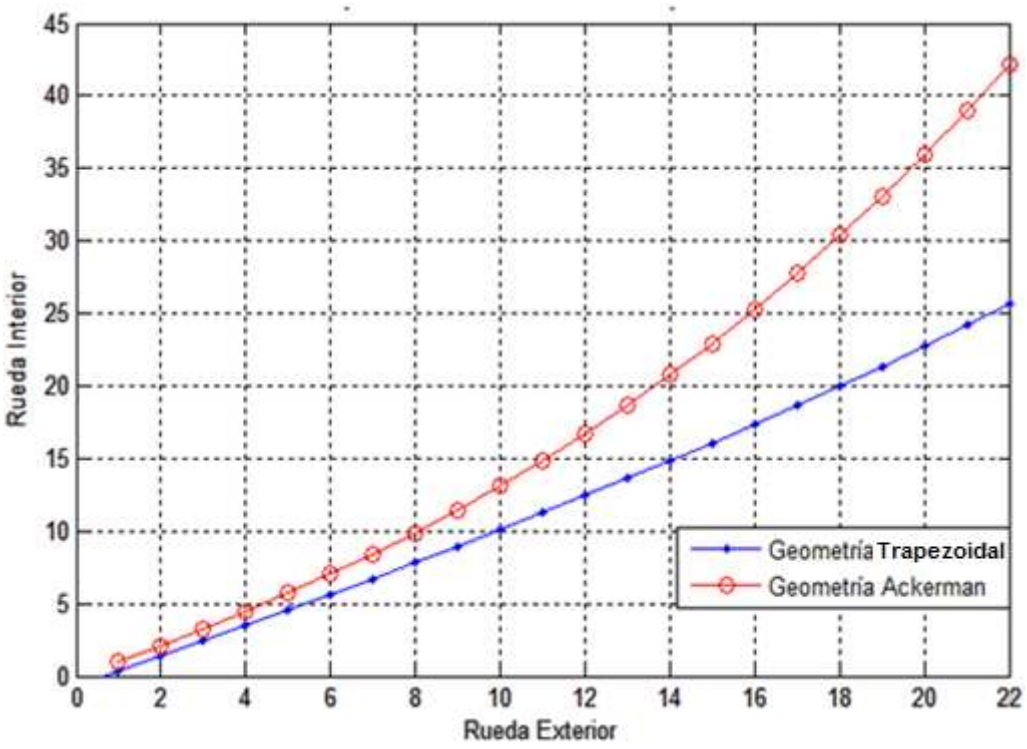


FIGURA 4.4 RADIO DE GIRO INTERIOR Y EXTERIOR DE LA GEOMETRÍA TRAPEZOIDAL Y LA GEOMETRÍA ACKERMAN

En la figura 4.4 vemos una comparación entre la geometría Ackerman y el arreglo trapezoidal, los ángulos entre la ruedas del lado interior y exterior de la curva deben evitar el arrastre de las llantas en las curvas a bajas velocidades y evitar el desgaste excesivo de las llantas frontales, los ángulos logrados con el mecanismo de cuatro barras (trapezoidal), tienen libertad de movimiento de hasta 25 grados máximo, debido a límites dimensionales de la carrocería que restringen el libre movimiento de las ruedas.

Radio de Giro del Vehículo.

En la Tabla 6 se muestra los radios de giro que tiene el vehículo para realizar los virajes en las curvas, con diferentes radios de giro a través del ángulo de giro del manubrio.

TABLA 6
RADIOS DE GIRO DEL VEHÍCULO

Angulo[Grados]	Radio[m]	Angulo[Grados]	Radio[m]
1	56,84	16	3,03
2	28,18	17	2,82
3	18,63	18	2,62
4	13,85	19	2,45
5	10,98	20	2,29
6	9,06	21	2,15
7	7,69	22	2,02
8	6,66	23	1,90
9	5,86	24	1,79
10	5,22	25	1,69
11	4,69	26	1,60
12	4,25	27	1,51
13	3,88	28	1,43
14	3,56	29	1,35
15	3,28	30	1,28

Diseño del Sistema Articulado de Dirección.

En el diseño del sistema de dirección articulado, se parte del ángulo interno que deben tener los brazos de dirección con respecto a al eje de las ruedas frontales cuando estas están orientadas hacia adelante; para encontrar la ubicación de los puntos de unión entre la barra de enlace de la dirección con los brazos de dirección de cada rueda, se estima la localización óptima de estos puntos de enlace, que se la obtiene trazando una línea imaginaria que pase por el centro de giro de la dirección en cada rueda y por el centro del eje de la rueda posterior, dependiendo de la separación que exista entre los ejes frontal y posterior, además de la separación entre los centros de giro de la dirección en cada rueda, se puede determinar la ubicación por donde debe estar la unión entre la barra de enlace y los brazos de dirección. Esto permite determinar la forma del elemento que soporta las ruedas, las mordazas de los frenos de disco, como también los brazos de la dirección. En la figura 4.5 observamos todos los componentes del mecanismo de la dirección del vehículo solar.

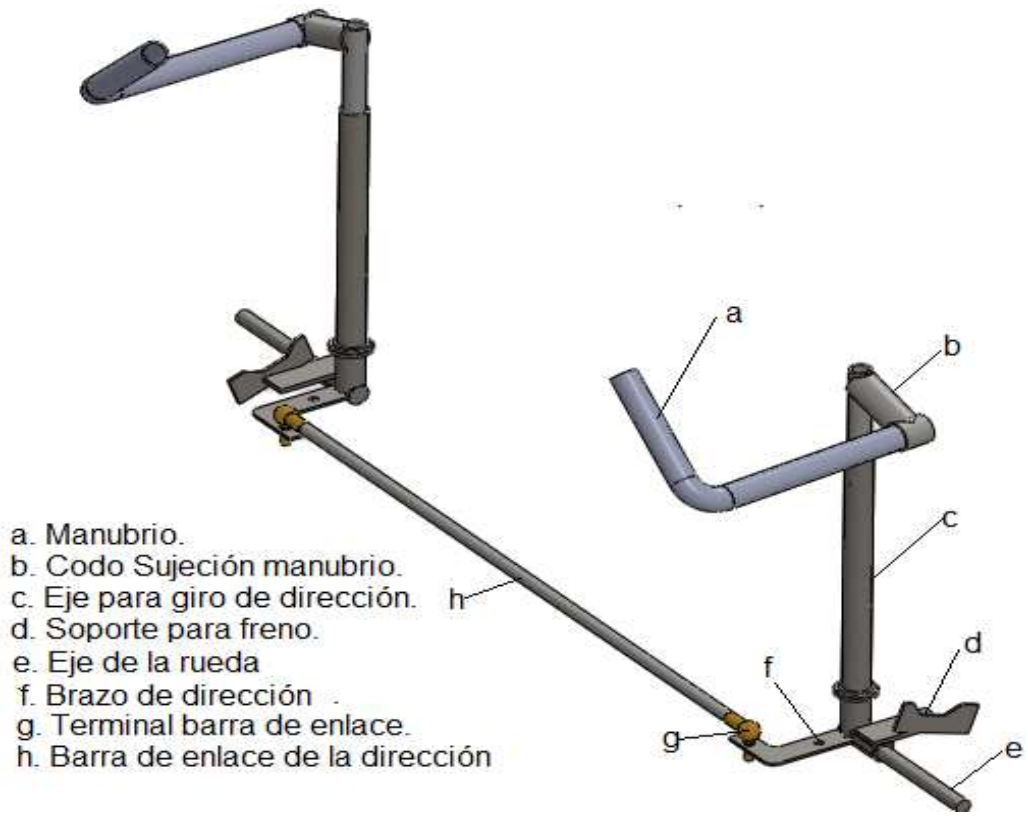


FIGURA 4.5 SISTEMA DE DIRECCIÓN DEL VEHÍCULO

Entre los principales componentes que conforman la dirección se tiene el manubrio (a) que hace de palanca y está encargado de transmitir al mecanismo de dirección la acción realizada por el conductor para girar las ruedas el ángulo deseado, este elemento en forma de L está fabricado con tubo de 1pulg (25.4mm) en aluminio, también sirve de soporte para las palancas de los frenos de las ruedas frontales y posterior y las palancas de cambios en la transmisión por cadena de la

potencia del conductor, para el control del vehículo y seguridad del conductor estos componentes deben encontrarse cerca del campo de acción de las manos del conductor.

El codo de sujeción (b) permite la fijación del manubrio con el sistema de dirección el cual está fijado al tubo de acero (c) que permita el giro de la misma, a través de una cuña la cual presiona la pared interior del tubo contra la pared exterior del codo permitiendo así su graduación y fijación a través de un tornillo.

El ángulo de dirección desarrollado por la rotación de las ruedas a través del eje de rotación de la dirección (c) llamado también “kingpin”, permite el giro de la dirección debido a los rodamientos de tipo bola, en la parte superior e inferior alojados en pistas de acero horizontales, los cuales soportan carga normal a la superficie de estas y que es el caso en este elemento de la dirección, además restringen el movimiento vertical de este elemento.

La distancia entre el eje de giro de la dirección y el centro de la zona de contacto de la rueda con el suelo, es necesaria para tener espacio y evitar la interferencia entre frenos, suspensión y componentes de la dirección, al mismo tiempo esto añade mayor estabilidad al vehículo, al alejar los puntos de apoyo laterales del centro de gravedad, y además reduce la resistencia estática de la dirección, pues permite que la rueda rote alrededor de un arco circular cuando esta es girada por él conductor.

El eje de la rueda (e) es un eje macizo en acero 1018 maquinado para darle la forma requerida que debe tener este, que permite el alojamiento del rodamiento de la rueda, también sirve de fijación del soporte donde se aloja el freno de las ruedas delanteras, el cual está formado por placas de acero A36 soldadas entre sí y con el eje.

El brazo de dirección (f) está fabricado con platinas de acero A36 y en forma de L, permite tener la unión del terminal de la barra de enlace con el brazo de dirección por la línea formada entre el centro de giro de la dirección y el centro del eje de la rueda posterior.

Alineación de las Ruedas

La alineación de las ruedas frontales en el vehículo es muy importante para evitar la tracción hacia la derecha o izquierda, haciendo que los neumáticos se desgasten de forma desigual, se desvíen, zigzagueen, o trepiden con la implicación de pérdida de energía en el vehículo, por el aumento en la resistencia a la rodadura del mismo.

La importancia en el sistema de dirección no solo consiste en el diseño de los elementos visibles descritos anteriormente, sino que también de la inclinación que tenga el eje de rotación de la dirección en cada rueda frontal, esta inclinación determina las fuerzas y momentos presentes en la misma.

El ángulo de inclinación de la rueda con respecto de la vertical al suelo, el cual es regulado por un perno excéntrico que permite variar la inclinación del eje de la dirección y que afecta directamente a la inclinación de las ruedas, permitiendo así compensar la inclinación que estas tengan debido al peso del vehículo, un ángulo excesivo de inclinación de las ruedas ocasiona un resbalamiento continuo de la

misma debido al hecho de que una rueda que esta inclinada tiende a rodar como un cono porque su eje de rotación no es horizontal, este efecto es contrarrestado y neutralizado por la convergencia de la ruedas.

Convergencia de las Ruedas Delanteras.

Una vez fijados los huecos en los brazos de dirección donde se acoplará la barra de enlace de la dirección (h) (de la figura 4.5), está formada por una barra solida de sección circular con un diámetro de 10mm, fabricada en acero 1018 y con roscas mecanizadas en los extremos con diferente sentido de giro donde se acoplan los terminales tipo rótula, que permiten la libre movilidad de la barra y evita que esta se flexione o choque con la estructura del chasis, cuando el vehículo gire en una curva o salte debido al movimiento vertical que tienen las ruedas permitido por la suspensión del vehículo.

También permite variar la longitud de esta barra girándola el ángulo necesario, para ajustar la convergencia de las ruedas frontales del vehículo, permitiendo que la distancia entre las ruedas frontales sea

menor en la parte anterior que en la parte posterior, de otro modo esto representa grandes pérdidas de energía por la resistencia al movimiento del vehículo. En este caso a través de varias pruebas efectuadas y verificando la respuesta en la dirección del vehículo, el valor de la distancia anterior es un centímetro menor que la distancia posterior en las ruedas frontales, obteniendo la convergencia adecuada.

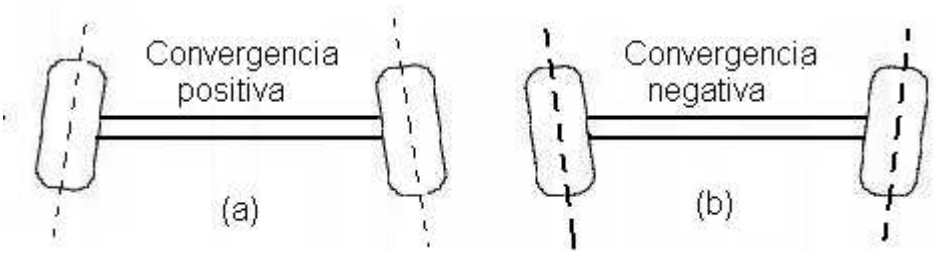


FIGURA 4.6 CONVERGENCIA DE LAS RUEDAS DELANTERAS (A) POSITIVA (B) NEGATIVA

Una vez definido el sistema de dirección se ubican los puntos de fijación de la suspensión al chasis del vehículo, los cuales deben ser acoplados adecuadamente para evitar problemas de desalineación de las ruedas frontales, esto se logra con un buen diseño del sistema de suspensión del vehículo.

4.2. Sistema de Suspensión

El propósito del sistema de suspensión es sostener el peso del vehículo, existe una amplia variedad de condiciones de velocidad y carga, esto representa una parte muy importante en la configuración del mismo, ya que no solo debe soportar las sacudidas del vehículo y brindar comodidad al conductor debido a las irregularidades del camino, sino que también debe proveer estabilidad al pasar por obstáculos en el camino y permitir al conductor dirigir el vehículo con seguridad, además debe ser eficiente para disminuir al máximo las pérdidas de energía por el arrasarte entre la zona de contacto de las ruedas con el suelo, cuando estas saltan debido a la presencia de un pequeño desplazamiento lateral de las ruedas, implícito en el movimiento de las mismas por condiciones de la geometría del sistema suspensión.

Las principales características del sistema de suspensión del vehículo son:

- Permitir el movimiento vertical de las ruedas en las irregularidades del camino y aislar al chasis de los momentos generados por las reacciones producidas.

- Mantener las ruedas en la dirección apropiada y con el ángulo de inclinación de las ruedas (camber) regulable.

- Mantener siempre en contacto de las ruedas con el suelo y evitar que patinen.

- Absorber las cargas de impacto evitando la torsión del chasis del vehículo.

Otras características consideradas en el proceso de diseño de los elementos de la suspensión son el costo, peso, espacio, manufactura, facilidad para ensamblar.

Balance de Masas en el Vehículo y Centro de Gravedad

Se determina el centro de gravedad del vehículo a lo largo del eje longitudinal del mismo y con respecto al eje de las ruedas frontales, se considera los componetes principales del vehículo, como son la carrocería, el chasis incluyendo los sitemas acoplados a este, el

conductor y el banco de baterías como masa puntuales, que estan concentradas el los centros de gravedad correspondientes, con respecto al eje frontal.

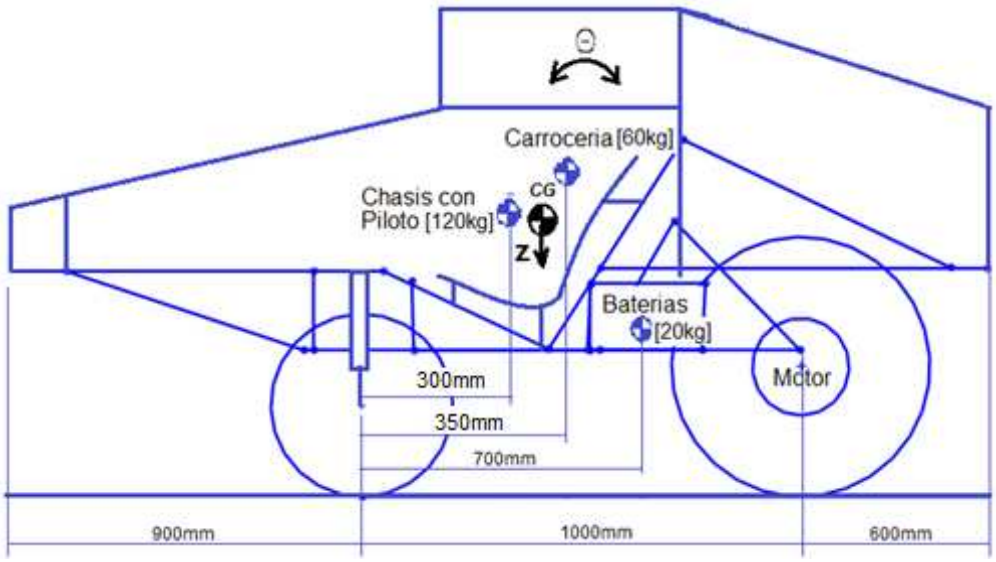


FIGURA 4.7 DISTRIBUCIÓN DE MASAS PUNTUALES

En la figura anterior se muestra la distribución de las masas puntuales y la ubicación de estas respecto al eje frontal, para determinar la ubicación del centro de grevedad del vehículo a través de un balance de masa con respecto al eje de las ruedas frontales.

$$CG = \frac{(20kg)(700mm) + (60kg)(350mm) + (120kg)(300mm)}{200kg} = 355mm$$

Esto da la ubicación del centro de gravedad a 355mm a lo largo del vehículo a partir del eje de las ruedas frontales hacia el eje de las ruedas posteriores. Para asegurar un buen rendimiento en el frenado del vehículo la distribución del peso en las ruedas frontales debe estar entre un 60%-70% del peso total del mismo, esto permite tener una distancia de frenado segura debido a que en la parte frontal se tiene mayor contacto con el suelo por la configuración de los puntos de apoyo que tiene el vehículo con el suelo. El balance porcentual del peso del vehículo en cada eje, anterior (w_f) y posterior esta (w_r) está determinado directamente por la relación entre las distancias de separación de los ejes posterior y anterior respecto al centro de gravedad y la separación entre ejes del vehículo.

$$w_f = \frac{1000mm - 355mm}{1000mm} * 100\% = 64.5\%$$

$$w_r = \frac{355mm}{1000mm} * 100\% = 35.5\%$$

Con lo cual se tiene un 29% más del peso del vehículo soportado en los puntos de apoyo frontales para mejorar la eficiencia en el frenado.

Resortes del Sistema de Suspensión

Para el dimensionamiento de los resortes, que son los encargados de absorber las cargas verticales, producto de los impactos de las ruedas en los sobre niveles del camino u obstáculos, se toma un valor de 3 veces el valor del peso que soporta cada rueda, como valor de la carga en máxima compresión del resorte, para tener en las ruedas un salto no mayor a 30mm para el cual la geometría de la suspensión frontal produce un pequeño arrastre lateral en las ruedas, el cual implica pérdida de energía. Esto permite hacer una aproximación del valor de la constante de deformación elástica que debe tener el resorte helicoidal, posteriormente se adquiere el resorte helicoidal disponible en el mercado, que cumpla con las condiciones de dimensión y de rigidez establecidas. Se usa el resorte helicoidal por las facilidades que brinda en la construcción de las suspensiones independientes y por el espacio que este ocupa.

Aislamiento de la Suspensión

La suspensión debe absorber las reacciones producidas por las irregularidades del terreno, para evitar que las vibraciones producidas por estas no fatiguen al conductor ni dañen los componentes eléctricos del vehículo, como por ejemplo las celdas solares que cubren la parte superior de la carrocería del vehículo y encargadas de proveer la energía eléctrica, las cuales son extremadamente frágiles debido a la característica del material cerámico del cual están hechas, y su espesor sumamente delgado de 0.3mm, las cuales no soportan vibraciones excesivas ni impactos bruscos. Por tales razones es de mucha importancia evitar que estas se rompan para mantener una alta eficiencia en la fuente eléctrica.

La absorción de estas de estas cargas de impacto se consigue por la acción combinada de los neumáticos (caucho de las ruedas mas el aire a presión) los cuales absorbe irregularidades pequeñas de la vía como asperezas, y la elasticidad del sistema de la suspensión los cuales absorben las reacciones producidas por los obstáculos en la vía como baches, rompe velocidades entre otros.

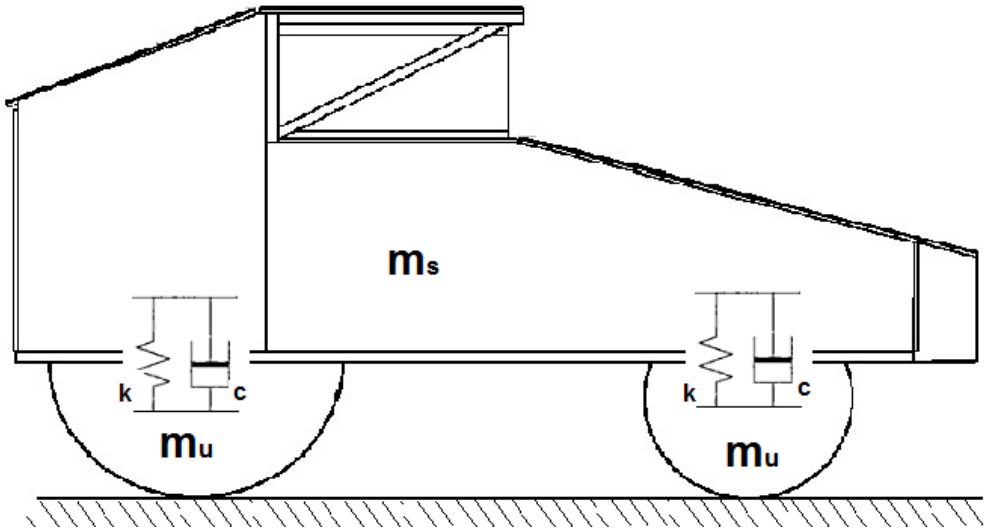


FIGURA 4.8 ESQUEMA DE LA SUSPENSIÓN

Las masas suspendidas (m_s) son el conjunto de componentes del vehículo que forman el chasis, carrocería, conductor, baterías, los cuales no están en contacto rígido con la superficie del suelo por el que circula el mismo. Por el contrario las masas no suspendidas (m_u) son el conjunto de componentes del vehículo que están en contacto con el suelo y siguen el perfil del mismo como son las ruedas, semiejes, dispositivos de frenado etc. En la figura 4.9 se muestra el modelado de un tercio del sistema de suspensión el cual representa el primer nivel de aislamiento de las irregularidades presentes en la vía, el cual consiste en una masa suspendida que se apoya sobre el sistema primario de suspensión (resorte-amortiguador) quedando así unida a la masa no

suspendida, la misma que se apoya sobre la rueda y es representada por un resorte debido al comportamiento elástico del neumático del vehículo.

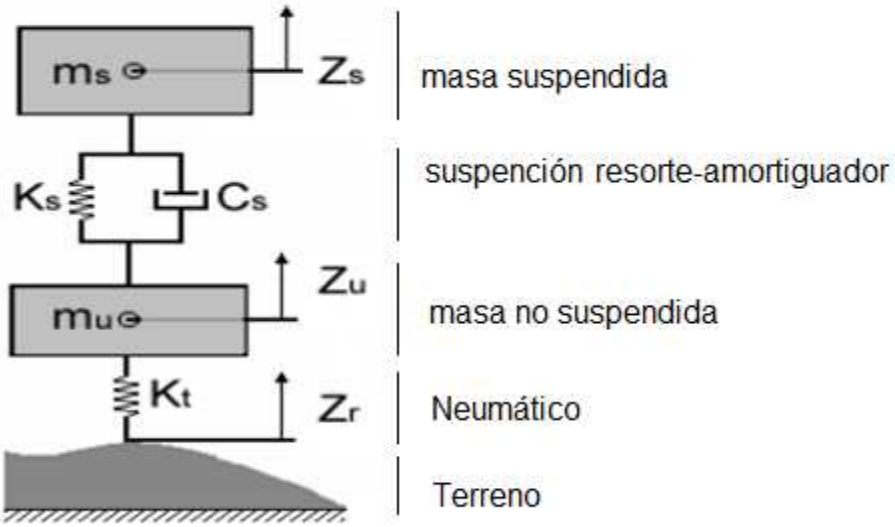


FIGURA 4.9 MODELO DEL TERCIO DE LA SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO

La rigidez efectiva del conjunto suspensión-neumático es determinada sumando los inversos de cada rigidez individuales Ks y Kt que son la rigidez del resorte de la suspensión y del neumático respectivamente. La rigidez efectiva del sistema de masas-resorte mostrado en la figura anterior está determinada por la relación:

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_s} + \frac{1}{k_t} \quad 4.10$$

$$k_e = \frac{k_s k_t}{k_s + k_t} \quad 4.11$$

La frecuencia natural ω_n de oscilación en una esquina del vehículo es determinada por:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_e}{m_s}} \quad \text{(Rad/seg)} \quad 4.12$$

$$f_n = 0.159\sqrt{\frac{k_e}{m_s}} \quad \text{(Hz)} \quad 4.13$$

Donde m_s es una torsión de la masa suspendida correspondiente a un tercio de la masa del vehículo asumida de acuerdo al modelo de la figura anterior. Debido a la presencia de amortiguación en la suspensión del vehículo, necesaria para evitar que este oscile libremente, la resonancia ocurre cuando la frecuencia de excitación se iguala con la frecuencia natural amortiguada dada por:

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1 - \zeta^2} \quad 4.14$$

$$\zeta = \frac{c_s}{\sqrt{4k_s m_s}} \qquad 4.15$$

Donde ζ es la relación de amortiguación que es el cociente entre la constante de amortiguación real Cs y la constante crítica de amortiguamiento con la cual el sistema retorna al equilibrio en un mínimo de tiempo y sin oscilar, la cual está determinada por $\sqrt{4k_s m_s}$ cuyo valor es función estricta de las constantes del sistema k_s, m_s. Los valores aceptables de la relación de amortiguación de la suspensión para tener un buen grado de confort que está entre 0.2 y 0.4. Es por esto que la frecuencia natural de oscilación sin amortiguación (ω_n) es casi similar a la frecuencia natural con amortiguación (ω_d).

Debido a esta pequeña diferencia la frecuencia natural ω_n es usada para caracterizar el comportamiento de la suspensión del vehículo. En la tabla 7 se muestran valores típicos de la amortiguación natural de materiales o estructuras reales de ingeniería, los cuales son muy pequeños.

TABLA 7
VALORES TÍPICOS DE AMORTIGUACIÓN

	ζ
Amortiguador de automóvil	0.1-0.5
Hule	0.04
Estructura de acero remacha	0.03
Concreto	0.02
Madera	0.003
Acero laminado en frrío	0.0006
Aluminio Laminado en frío	0.0002
Bronce fosforado	0.00007

La deflexión estática de la suspensión, que es la relación entre el peso de la masa suspendida y la rigidez efectiva de la suspensión es un parámetro indicativo para determinar la frecuencia de oscilación natural de forma directa. En la figura 4.10 se muestra la relación lineal que existe entre la deflexión estática y la frecuencia natural sin amortiguamiento.

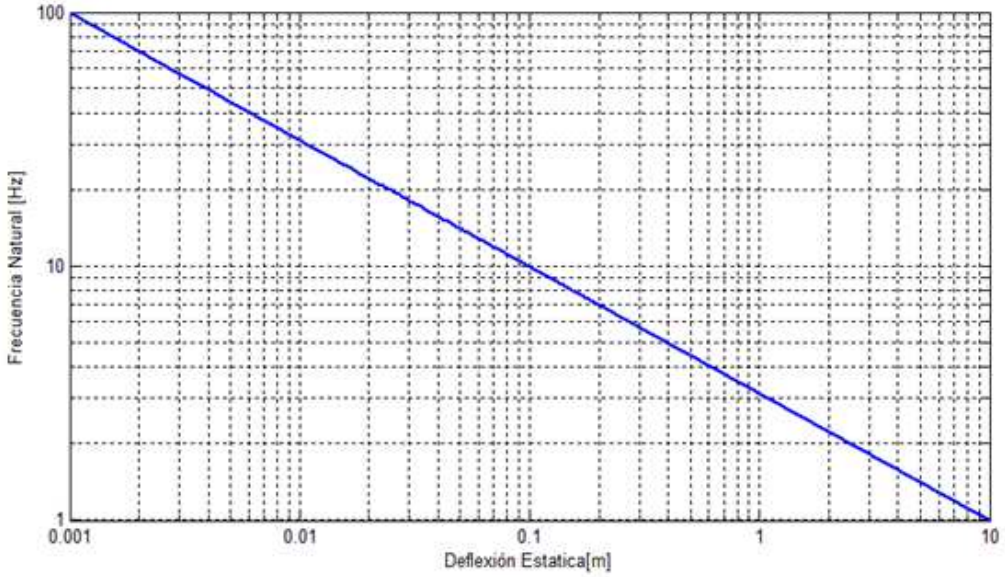


FIGURA 4.10 FRECUENCIA NATURAL SIN AMORTIGUAMIENTO VS DEFLEXIÓN ESTÁTICA

Del cual se puede ver, que para bajas frecuencias de oscilación se requiere que el sistema de suspensión proporcione grandes deformaciones como se ve para una frecuencia natural de 1Hz, que es el valor óptimo del diseño del sistema de suspensión en casi todos los vehículos, que requiere una deflexión estática de 254mm (10pulg). El modelo de un tercio de la suspensión del vehículo con dos grados de libertad mostrado en la figura anterior, está limitado al estudio del comportamiento dinámico únicamente en la dirección vertical.

El comportamiento dinámico para el sistema de masas suspendidas y no suspendidas se lo obtiene a partir de la segunda Ley de Newton, con lo cual se puede expresar las siguientes ecuaciones diferenciales que determinan el movimiento del sistema masas resorte amortiguador:

$$m_s\ddot{z}_s + c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s(z_s - z_u) = 0 \qquad 4.16$$

$$m_u\ddot{z}_u - c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) - k_s(z_s - z_u) + k_t(z_u - z_r) = 0 \qquad 4.17$$

Para realizar el análisis dinámico del modelo de un tercio de la suspensión del vehículo es necesario presentar el modelo matemático en variables de estado, despejando $\ddot{z}_s$ y $\ddot{z}_u$ de las ecuaciones diferenciales 4.16 y 4.17 respectivamente con lo cual quedan expresadas de la siguiente forma:

$$\ddot{z}_s = \frac{1}{m_s}[-c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) - k_s(z_s - z_u)] \qquad 4.16a$$

$$\ddot{z}_u = \frac{1}{m_u}[c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s(z_s - z_u) - k_t(z_u - z_r)] \qquad 4.17a$$

De esta forma se representa mediante un diagrama de bloques la obtención de las respuestas (aceleraciones, velocidades,

desplazamientos) de los componentes del modelo de suspensión y variar los parámetros de rigidez y amortiguación para observar su comportamiento en la suspensión del vehículo. En la figura 4.11 se muestra el diagrama de bloques usado para obtener los resultados indicativos del comportamiento de la suspensión en forma gráfica.

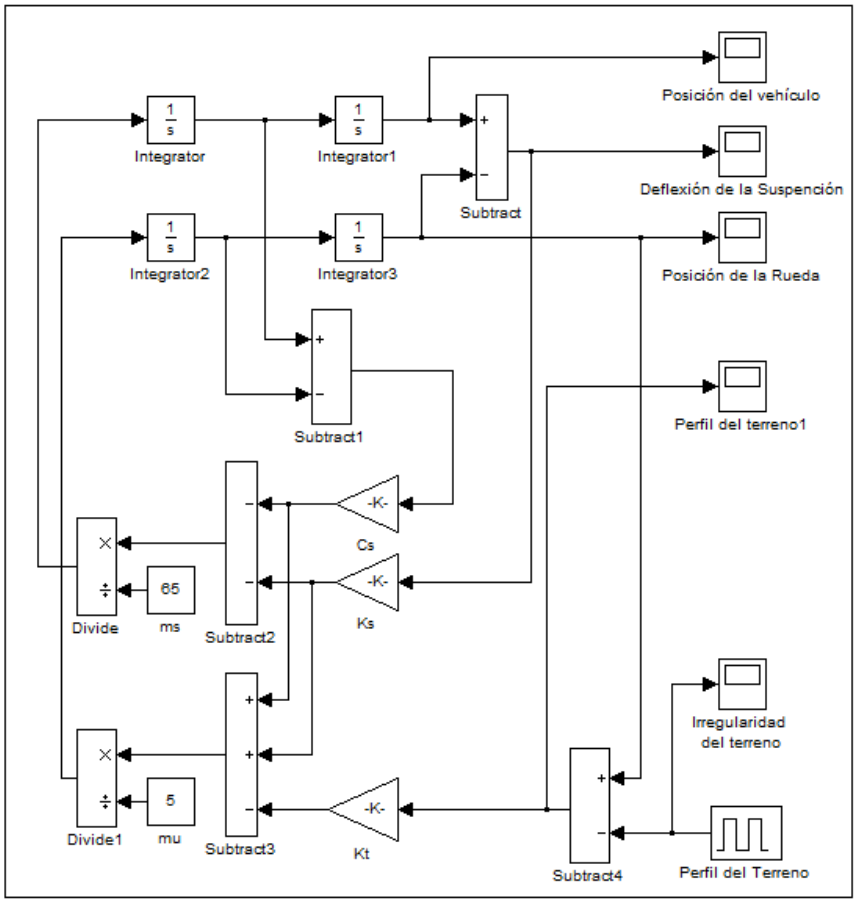


FIGURA 4.11 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN TERCIO DEL VEHÍCULO CON DOS GRADOS DE LIBERTAD

En la figura siguiente se muestra la perturbación del sistema de suspensión, que corresponde a las irregularidades presentes en el camino, las cuales están simuladas por la función escalón, con un valor de 30mm de sobre nivel que provoca el movimiento oscilatorio del vehículo, produciendo las aceleraciones, velocidades, desplazamientos en las masas suspendidas y no suspendidas del sistema de suspensión. La figura siguiente muestra la posición de la rueda respecto al suelo, la cual sigue las irregularidades del terreno.

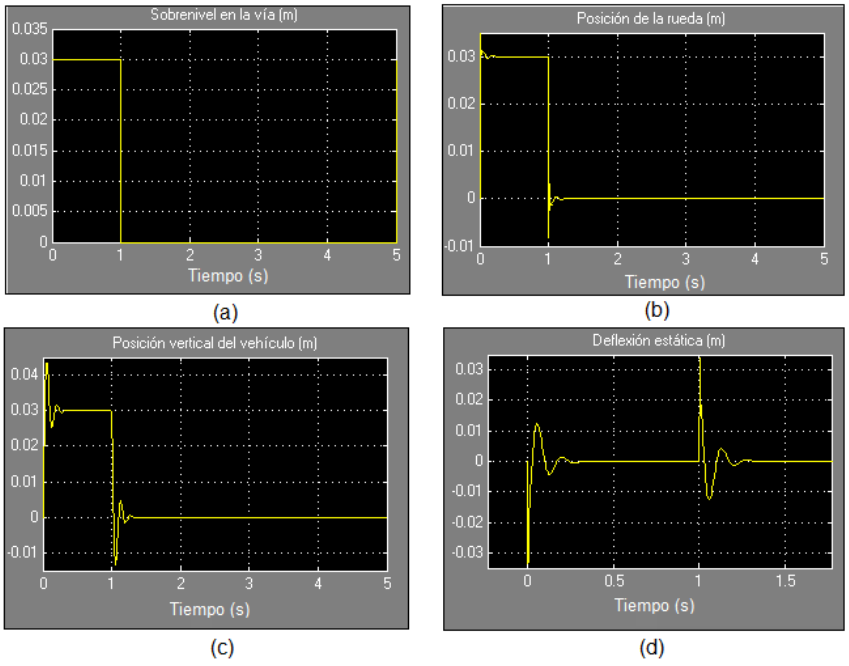


FIGURA 4.12 RESPUESTA DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN A LAS IRREGULARIDADES DE LA VÍA

En la figura 4.12 (c) se muestra la posición vertical del vehículo, el cual tiene un movimiento vibratorio amortiguado, cuyo valor máximo de amplitud vertical es de 10mm por encima del nivel de iregularidad en el camino. En la figura 4.12 (d) se ve el comportamiento de la deflexión de la suspensión la cual muestra una compresión maxima de 35mm por el efecto de la variacion en el nivel del terreno.

Tipos de Suspensión

Existen dos tipos de suspensión, las de eje sólido y la suspensión independiente, que a diferencia de la anterior permite el movimiento vertical de cada rueda por separado, es decir sin que el movimiento de la una afecte a la otra y viceversa. La suspensión independiente es la que mejor se ajusta a la configuración de la suspensión frontal y posterior del vehículo, debido a las condiciones geométricas impuestas por la forma del chasis para la fijación de los soportes de la suspensión, y debido a las rigidez relativa a la constante de deformación del resorte usado para absorber las cargas verticales aplicadas a las ruedas.

Suspensión Frontal del Vehículo Solar

La suspensión frontal está formada por un mecanismo de cuatro barras llamado también SLA por sus siglas en inglés (short long arm) ya que esta posee dos brazos laterales, uno superior y otro inferior de mayor longitud, que permite la aproximación al movimiento de línea recta deseable en la configuración de la suspensión frontal, para evitar el arrastre lateral de las ruedas y por ende pérdidas de energía innecesarias, evitando así el desgaste excesivo de la banda de rodadura de la rueda.

El objetivo del diseño de la suspensión frontal es mantener las ruedas alineadas apropiadamente y minimizar las pérdidas de energía por el arrastre lateral de las ruedas en la zona de contacto con el suelo. En la figura 4.13 vemos un esquema del diseño de forma de la suspensión identificando los cuatro componentes del mecanismo de la suspensión; chasis del vehículo (1), el brazo de suspensión inferior (2), el cual tiene la forma de “A” visto desde la parte superior y permite la fijación del resorte con el chasis, para rigidizar el sistema de suspensión, además debe ser lo más largo posible para que el segmento circular, que esta

pivoteado con en el apoyo del chasis en el rango de libertad del mismo, sea lo más aproximado a una línea recta.

El tubo guía del eje de la dirección (3) en el cual están alojadas las guías del eje de la dirección, permiten el giro del mismo, y el brazo de suspensión superior (4), cuya longitud debe ser seleccionada apropiada mente para minimizar el movimiento lateral de rueda cuando esta salta.

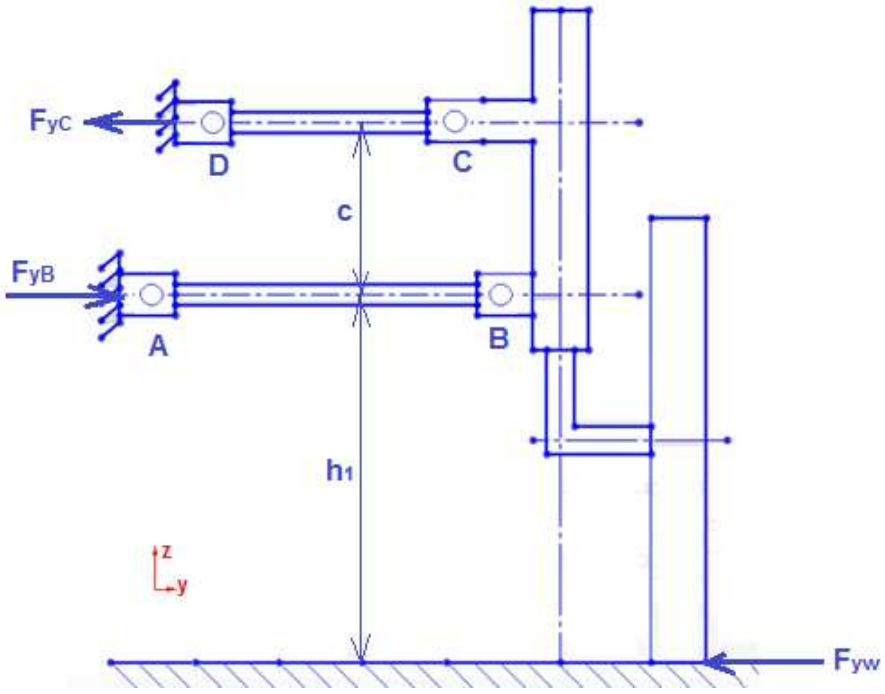


FIGURA 4.13 ESQUEMA DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN FRONTAL

Para continuar con el diseño de la suspensión frontal se necesita conocer el ancho del chasis en la parte donde se ubicará la suspensión frontal, la distancia de separación entre las ruedas frontales, la cual se escogió apropiadamente de 910mm, que es una distancia aproximada y referencial, además esta brinda estabilidad al vehículo y está limitada por la medida máxima en el ancho del vehículo que es de 1200mm, la cual está establecida en las bases del competencia. También se debe seleccionar la medida desde el suelo hasta el brazo de la suspensión inferior, que depende del diámetro de la ruedas anteriores y posterior usadas en el vehículo, en este caso se tienen dos ruedas frontales de 20plg (508mm) de diámetro y una rueda posterior de 700mm de diámetro, lo cual permite determinar la altura del vehículo desde el suelo hasta la parte inferior del chasis en 300mm. Estos valores seleccionados arbitrariamente son de referencia, para el dimensionamiento de los componentes de la suspensión frontal.

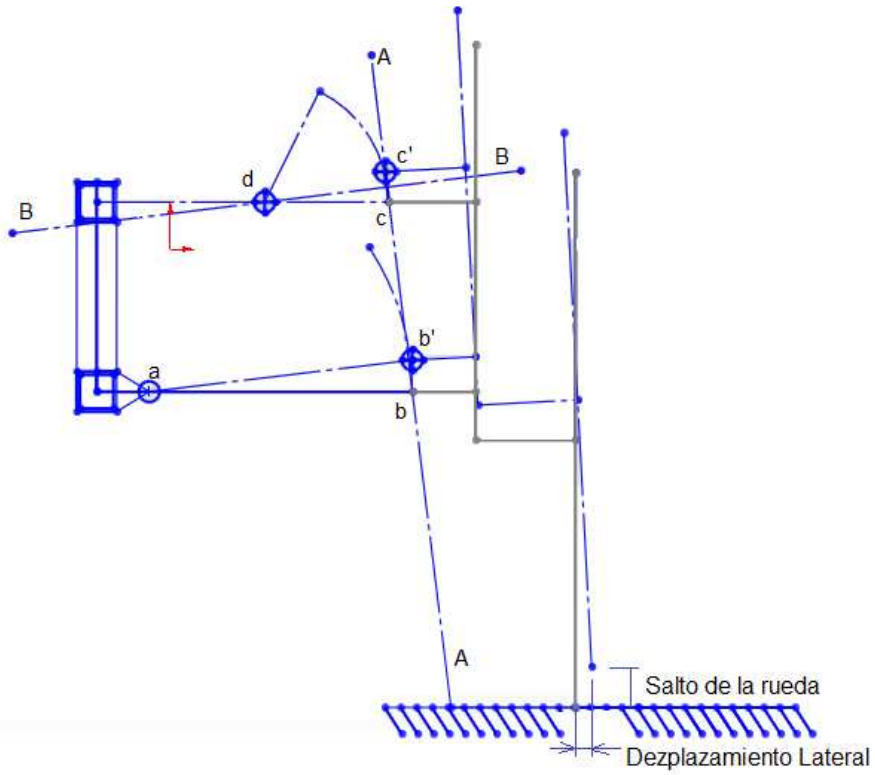


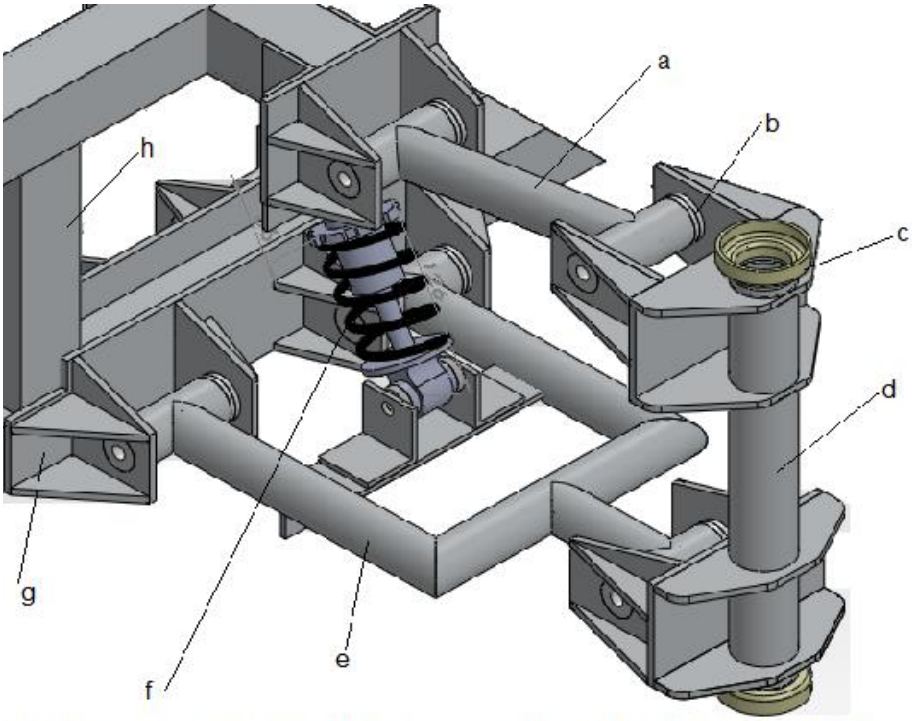
FIGURA 4.14 ANÁLISIS DEL MECANISMO DEL SISTEMA FRONTAL DE SUSPENSIÓN

Para determinar la longitud del brazo superior se define primero la longitud del brazo inferior, con una longitud apropiada, en base a consideraciones dimensionales que evitan interferencia al direccionar las ruedas para girar el vehículo, conviene una longitud de 250mm entre centros “a”,”b” (de la figura 4.13, distancia entre los agujeros en los extremos, por donde pasan los pernos de fijación del brazo de suspensión inferior).

En la figura 4.14 se muestra un análisis gráfico, que determina la longitud y ubicación respecto del chasis, de los pivotes, del brazo superior de la suspensión y obtener el desplazamiento lateral menor posible de la rueda en la zona de contacto con el suelo. Para ello se considera un desplazamiento vertical de la rueda de 4 cm, el cual va acompañado de una pequeña rotación de todo el conjunto de soporte de la rueda en sentido contrario al de las manecillas del reloj, que desplaza los puntos b, c, a la nueva posición b' y c', los cuales pasan aproximadamente por la recta AA, inclinada aproximadamente 7 grados con la vertical, la cual se aproxima a la trayectoria real de los pivotes b, c en un desplazamiento vertical de las ruedas de 4cm.

La ubicación del pivote d respecto al chasis del vehículo se encuentra trazando el bisector BB en el puntos medio entre c y c', el cual intercepta la recta horizontal que pasa por el centro del brazo superior de la suspensión y está determinada por la separación fijada en el chasis de los puntos de apoyo de los brazos de la suspensión, la cual debe ser lo más grande posible para desarrollar pequeñas fuerzas laterales de reacción en el chasis.

En la figura siguiente se observa el diseño definitivo del sistema de suspensión frontal del vehículo, en el cual todos sus componentes ensamblados, como son el conjunto resorte amortiguador seleccionado, usado para rigidizar la suspensión con una constante de deformación lineal de 750 lbf/plg.(131kN/m).



a. Brazo de la suspención superio.
b. Bocines media luna.
c. Pista de rodamientos.
d. Soporte del eje de la dirección.
e. Brazo de la suspención inferior.
f. Conjunto resorte amortiguador.
g. Mensula para fijacion del brazo inferior
h. Chasis.

FIGURA 4.15 SISTEMA DE SUSPENSIÓN FRONTAL

El brazo de suspensión superior está sujetado con pernos excéntricos de acero, los cuales permiten una pequeña extensión de este para ajustar la inclinación de las ruedas. Los brazos de la suspensión están formados con tubo de sección circular de 1pulg (25.4mm) de diámetro exterior fabricados en aluminio y soldados para darle la forma requerida en base al dimensionamiento del sistema de suspensión frontal realizado con la ayuda de un sistema CAD que permite el análisis gráfico del mecanismo, que determina la posición de los pivotes del sistema de suspensión.

Los bocines usados en las ménsulas de apoyo en el chasis en los extremos de los brazos de suspensión y ménsulas de para sujeción en el soporte de la dirección están fabricados en nylon, el cual es un material polímero de gran aplicación para la fabricación de bocines por las ventajas que presenta este, como son la facilidad de mecanizado, la alta resistencia al desgaste relativo a otros materiales polímeros, su bajo peso por unidad de volumen, además su bajo coeficiente de fricción con la superficie exterior del perno de sujeción permite un contacto deslizante, sin necesidad de lubricación constante entre los bocines y

los pernos de sujeción de los brazos de la suspensión, que forman los pivotes que permiten la movilidad de este sistema.

Suspensión Posterior del Vehículo

Los principales beneficios del uso de una suspensión posterior independiente, están directamente relacionados con la mejora en las condiciones de estabilidad, maniobrabilidad, y confort del conductor.

Diseño de la Suspensión Posterior

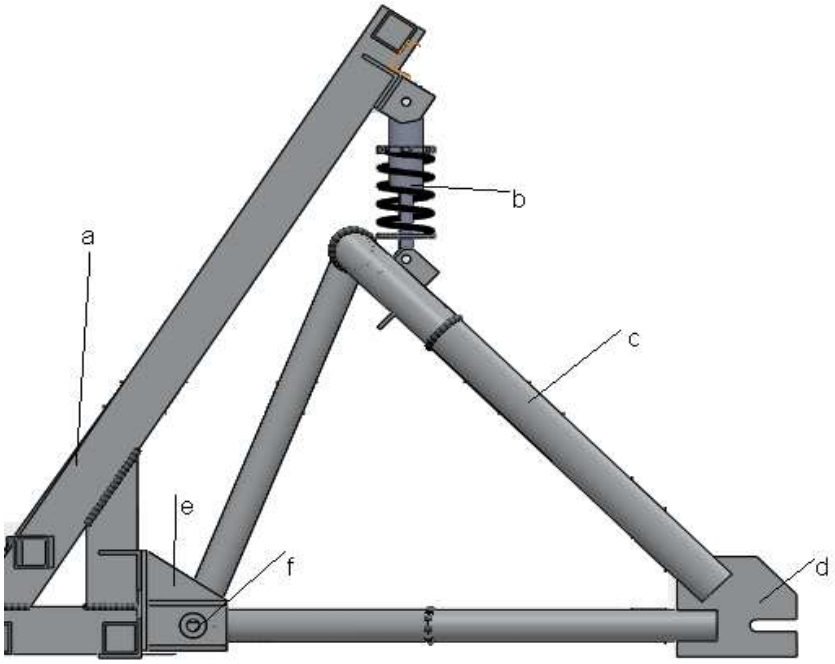
Para el diseño de la suspensión posterior se usa un balancín, pivoteado en una ménsula de apoyo fijada en la parte posterior central del chasis del vehículo, este mecanismo es usado por las ventajas que presenta para adaptarse a la configuración posterior del vehículo, el cual cuenta con una rueda posterior, que es además la rueda motriz, de este modo se evita la necesidad del uso de un mecanismo diferencial en las ruedas posteriores usado en los vehículos de dos ruedas posteriores, esto conlleva a la disminución del peso total del vehículo e involucra menos

partes en movimiento, lo cual representa pérdidas por fricción en la transmisión del movimiento.

Por esta razón la disposición de usar una rueda en la parte posterior del vehículo, que, si bien es cierto resta estabilidad por el hecho de tener solo tres puntos de apoyo con el suelo y poca adherencia al suelo en la parte posterior del vehículo, pero a su vez, esta configuración de tres ruedas simplifica en gran medida el diseño y construcción de los componentes de los sistemas de transmisión y suspensión posterior del vehículo.

La estructura del balancín que soporta la rueda posterior debe tener una alta rigidez torsional para soportar las cargas laterales (curvas) y evitar que la rueda posterior se incline y/o desalinee con el chasis del vehículo, lo cual causa problemas en maniobrar el vehículo, pues tenderá a seguir el rumbo dado por la orientación de la rueda posterior, además puede producir desgaste desigual y anticipado en la rueda.

Esto conlleva a fallas prematuras y al deterioro de los componentes que conforman los demás sistemas mecánicos y eléctricos, relacionados entre sí con el mecanismo de suspensión, contribuyendo al mal funcionamiento de los mismos y a la baja eficiencia global del vehículo.



a. Chasis.
b. Resorte-Amortiguador.
c. Estructura Balancín.
d. Guida del eje de la Rueda.
e. Ménsula posterior central.
f. Perno de sujeción M10

FIGURA 4.16 SISTEMA DE SUSPENSIÓN POSTERIOR

El resorte helicoidal absorbe las cargas de impacto verticales aplicadas en la rueda posterior producidas por los golpes de la rueda con las irregularidades del camino, esto mejora la comodidad del conductor evitando los golpes bruscos, haciendo que estas cargas no se

transmitan directamente al chasis, sino que sean absorbidas por la suspensión, además disminuye notablemente la flexión producida por estas cargas en los elementos que forman la estructura que soporta la rueda posterior, aumentando de esta manera su factor de seguridad.

4.3. Sistema de Frenos

La acción frenar significa el uso de una fuerza controlada para reducir la velocidad del vehículo, detenerlo; o para mantener el vehículo inmóvil, cuando se aplica la fuerza de frenado, esta desarrolla resistencia al movimiento relativo entre dos superficies que están en contacto o rozamiento, realizando la acción de frenar.

Un vehículo en movimiento, como cualquier otro cuerpo en movimiento tiene energía cinética, esta energía cinética aumenta con el cuadrado de la velocidad. Si se dobla la velocidad, la energía cinética aumenta cuatro veces; por consiguiente el trabajo realizado por la fuerza de frenado para detener el vehículo debe ser mínimo cuatro veces dicha cantidad de energía. Debido a esto se espera que la fuerza de frenado reduzca la velocidad de un vehículo más rápidamente, en comparación al aumento

de la velocidad producida por la fuerza de tracción, entonces se debe estar en la capacidad de dominar una fuerza mayor a la desarrollada en la tracción del vehículo.

Los frenos no solamente deben estar en condiciones de detener el vehículo, sino que además, por seguridad deben detenerlo en una distancia tan corta como sea posible. En la tabla 8 se muestra algunos valores indicativos del coeficiente de rozamiento para varios tipos de materiales usados en la construcción de carreteras.

TABLA 8
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE ALGUNOS MATERIALES

TIPO DE MATERIAL	*ESTADO*	*NEUMÁTICOS*	
		Nuevos	***Usados***
Asfalto medio	Helado	0,10	0,10
	Mojado	0,65	0,55
	Seco	0,80	0,80
Asfalto compacto	Mojado	0,60	0,30
	Seco	0,65	0,60
Hormigón de Cemento	Mojado	0,70	0,50
	Seco	1,00	1,00

Tiempo Teórico de Frenado

Si a un vehículo en movimiento se le aplica una fuerza de frenado, esta provoca una desaceleración en su movimiento, que será proporcional a la fuerza aplicada, la masa del mismo es constante. La fuerza de frenado (F_f) producida en el vehículo está dada por la ecuación a partir de la segunda ley de Newton:

$$F_f = M * d \tag{4.1}$$

Donde M es la masa total del vehículo, d es la desaceleración del vehículo producida por la fuerza de fricción entre las ruedas y el suelo, que a su vez es proporcional a la fuerza normal a la superficie de contacto entre la rueda y el suelo, por lo que se puede expresar de la siguiente forma:

$$d = \frac{F_f}{M} = \frac{\mu * N}{M} = \frac{\mu * M * g}{M} = \mu * g \tag{4.2}$$

Con la velocidad del vehículo v, el tiempo de frenado teórico t_f (hasta frenar el vehículo completamente) será:

$$t_f = \frac{v}{d} = \frac{v}{\mu * g} \quad 4.3$$

Tiempo Real de Frenado

En el frenado del vehículo hay que tener en cuenta que, desde que el conductor ve el obstáculo, hasta que acciona las palancas de freno, transcurre un cierto tiempo llamado tiempo de reacción (t_r), dicho tiempo comprende el tiempo trascurrido desde que el conductor observa la presencia de un obstáculo hasta que se ponen en contacto las superficies en fricción del sistema de frenos. Este tiempo depende de la capacidad del conductor para reaccionar ante imprevistos presentes en la vía para un conductor promedio el tiempo de reacción es de 0.75 segundos en este tiempo se incluye el tiempo de respuesta del mecanismo de frenos. Así pues el tiempo de frenado real (tp) en segundos es:

$$t_p = t_f + t_r \quad 4.4$$

El espacio total de frenado (e_t) es la suma del espacio recorrido en el tiempo de reacción (e_r), donde el vehículo se mueve con la misma

velocidad y el espacio recorrido (e) durante el tiempo de frenado en la cual empieza a disminuir la velocidad hasta detenerse el vehículo:

$$e_t = e + e_r = \frac{M * v^2}{2 * F_f} + v * t_r$$

$$e_t = \frac{v^2}{2*d} + 0.75v \qquad 4.5$$

El espacio de frenado es proporcional al cuadrado de la velocidad del vehículo y el espacio de reacción es proporcional a la velocidad del vehículo, en el siguiente gráfico se muestra el espacio recorrido por un vehículo a diferentes velocidades con una desaceleración de 1g.

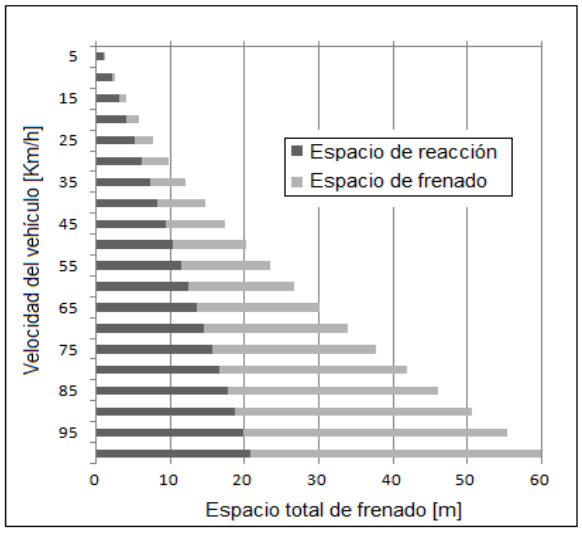


FIGURA 4.17 ESPACIO RECORRIDO A DISTINTAS VELOCIDADES

Cuando se apliquen los frenos, la rueda, rodará o se deslizará, de acuerdo con los valores relativos de de los coeficientes de rozamiento entre las superficies de freno o entre la rueda y la carretera. Se alcanza la máxima retardación del movimiento del vehículo, cuando el rozamiento entre la superficie del freno sea tal que la rueda esté a punto de agarrotarse, en este punto el rozamiento en la superficie del freno es casi igual al existente entre la rueda y la carretera. Esta es la cantidad máxima de rozamiento que puede usarse para retardar el movimiento del vehículo, por lo que el factor limitante al frenar el vehículo es el rozamiento hallado entre las ruedas y la carretera.

Diseño del Sistema de Frenos

Debido a la inercia que lleva la masa del vehículo al estar en movimiento, al aplicar la fuerza de frenado, este tiende a balancearse hacia la parte de adelante, provocando un aumento proporcional en la reacción del suelo contra las ruedas delanteras y consecuentemente una disminución en la misma proporción de la reacción en la rueda posterior.

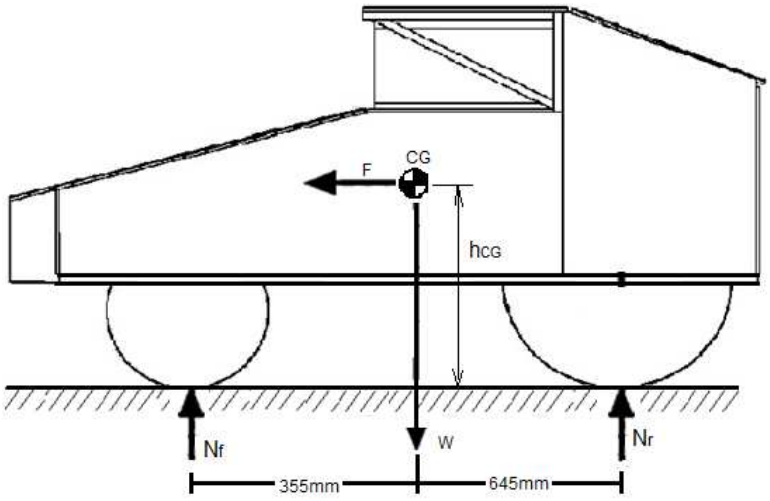


FIGURA 4.18 ESQUEMA DE LA UBICACIÓN DE LAS REACCIONES CON RESPECTO AL CENTRO DE GRAVEDAD

A través de un balance de fuerzas en la dirección x, se observa que la fuerza inercial (F) que provoca el cambio en el valor de las fuerzas normales a las superficie de contacto entre las ruedas anteriores y posteriores Na y Np respectivamente, debe ser igual a la fuerza de frenado debido al rozamiento para que el vehículo se detenga. La fuerza inercial debida al frenado es igual a la masa total del vehículo multiplicada por la desaceleración. Realizando una sumatoria de fuerzas y de momentos, en la figura 4.18 se puede obtener el valor de las reacciones en los ejes anterior y posterior en las ecuaciones 4.6 y 4.7.

$$N_a = \frac{(645)W + h_{CG}F}{1000} \qquad 4.6$$

$$N_p = \frac{(355)W - h_{CG}F}{1000} \quad 4.7$$

Si solamente las ruedas frontales proveen la fuerza de frenado, la máxima fuerza de frenado para el vehículo es igual a la fuerza normal multiplicada por el coeficiente de fricción entre las ruedas y la carretera, asumiendo un coeficiente de fricción $\mu = 0.8$ como valor promedio de las condiciones de fricción en la carretera, entonces la máxima fuerza de frenado es $F_f = 0.8N_a$. La fuerza normal en las ruedas anteriores es calculada usando la ecuación 4.6

$$N_a = \frac{(645)W + (400)(0.8)W}{1000}$$

$$N_a = (0.965)W \quad 4.8$$

Entonces en este caso el peso esta soportado casi en su totalidad por las ruedas anteriores, cuando se efectúa una frenada brusca, aplicando únicamente los frenos de las ruedas anteriores, comparado con el 64.5% del peso que es la carga estática que soporta en condiciones normales sin aplicar los frenos. La máxima fuerza de frenado es 0.8

veces la fuerza normal N_a en las ruedas frontales, lo cual genera una desaceleración de 0.772g.

Frenado con las Ruedas Delanteras y Posterior

Si las ruedas anteriores y posteriores son frenadas el vehículo puede desarrollar una desaceleración teórica máxima de 0.8g. Es importante que la aplicación de los frenos sea proporcional, para evitar que los frenos posteriores bloqueen la rueda y deslice esta antes que los frenos delanteros bloqueen las ruedas. El deslizamiento de la rueda posterior causa que el vehículo gire con respecto al eje Z vertical del centro de gravedad, lo cual puede hacer que el conductor pierda el control del vehículo, en cambio si se bloquean las ruedas anteriores el carro tenderá a deslizarse en línea recta y es más fácil que el conductor recupere el control del vehículo.

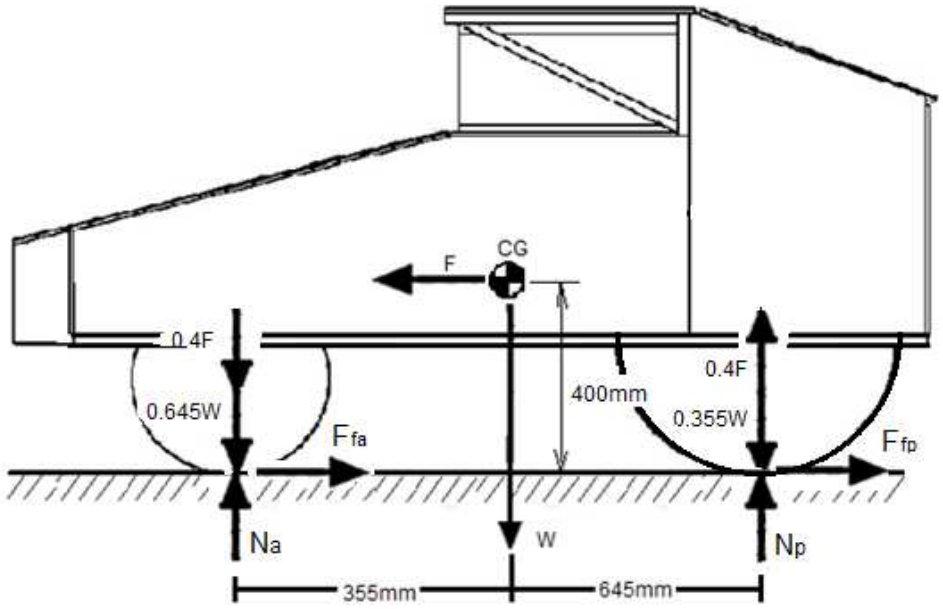


FIGURA 4.19 FRENADO CON LAS RUEDAS DELANTERAS Y RUEDA POSTERIOR

Para prevenir deslizamiento de la rueda posterior, la fuerza de frenado en la rueda posterior debería ser limitada a $0.5N_p$. Entonces la máxima fuerza de frenado es 0.8 veces la fuerza normal en las ruedas anteriores mas 0.5 veces la fuerza normal en la rueda posterior.

$$F= (0.8)\,[(0.645)\,W+ (0.4)\,F] + (0.8)\,[(0.355)\,W-(0.4)\,F] \qquad 4.9$$

Resolviendo la ecuación 4.9 se obtiene: $F=0.78W$, $N_a=0.87W$, $N_p = 0.13W$ en este caso el 87% del peso del vehículo está en la ruedas anteriores comparado con 64.5% del porcentaje de peso estático que

soporta en condiciones normales. La máxima desaceleración obtenida es de 0.78g este aumento en el valor de la desaceleración es debido a la fuerza de frenado en la rueda posterior la cual contribuye al frenado del vehículo.

Dimensionamiento del Sistema de Frenos

El tipo de freno usado en las ruedas son de tipo disco por la confiabilidad y seguridad que estos presentan, estos deben ser dimensionados y seleccionados de tal forma que cumplan con los requerimientos del torque de frenado (T_B) necesario para detener el vehículo en una distancia segura. Si la fuerza normal N_a es igual a 0.87W para los casos de frenado con las ruedas anteriores y posteriores.

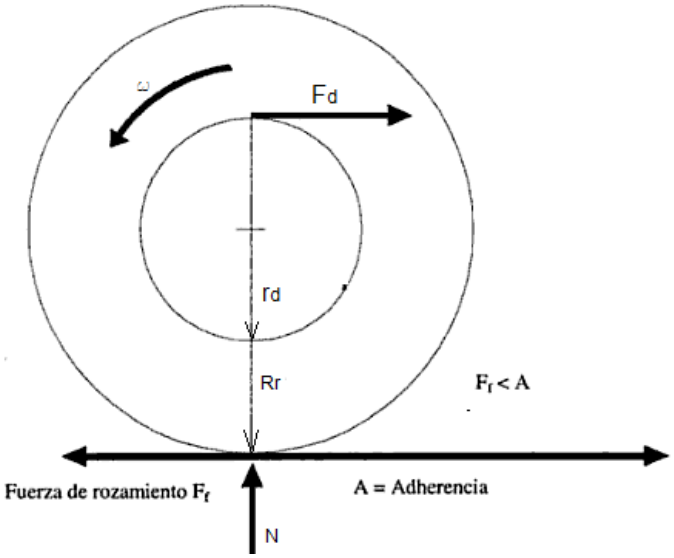


FIGURA 4.20 FUERZAS PRESENTES EN EL FRENADO

$$T_B = (0.8)\left(\frac{N_a}{2}\right)R_r = 0.4(N_a)R_r \qquad 4.10$$

La fuerza de fricción en el disco de freno (F_d) ubicada en el radio medio (r_d) de la superficie de contacto de asbesto, usado para producir el frenado de la rueda, por las ventajas que presta para ser usado como materia de desgaste en los frenos de los vehículos. Esta fuerza en cada rueda delantera debe producir el torque T_B para detener el vehículo por tanto se tiene que.

$$F_d = \frac{T_B}{r_d}$$

$$F_d = 0.4 N_a \frac{R_r}{r_d} \quad (4.11)$$

El coeficiente de fricción entre el asbesto y el acero del disco de freno está entre 0.2-0.4, el valor mínimo aparece cuando el disco esta mojado, ya que este es el peor caso se diseña para un coeficiente de fricción de 0.2. Entonces la fuerza N_d, perpendicular a la superficie del disco, debe ser aplicada en la palanca de freno por el conductor, está dada por.

$$N_d = \frac{F_d}{0.2}$$

$$N_d = N_a \frac{R_r}{r_d} \quad (4.12)$$

En la siguiente figura, se muestra como está configurado el sistema de frenos del vehículo, los mismos que están situados, uno en cada rueda anterior y dos en la rueda posterior. El sistema de frenos de las ruedas delanteras es independiente, los cuales ayudan a maniobrar el vehículo para los virajes en las curvas, en la rueda posterior están colocadas dos mordazas de frenos tipo U independientes, una para el frenado de la rueda posterior, accionada por un pedal de freno cerca de los pies del

conductor, y la otra usada para freno de estacionamiento del vehículo cuyo mando está en el manubrio de dirección.

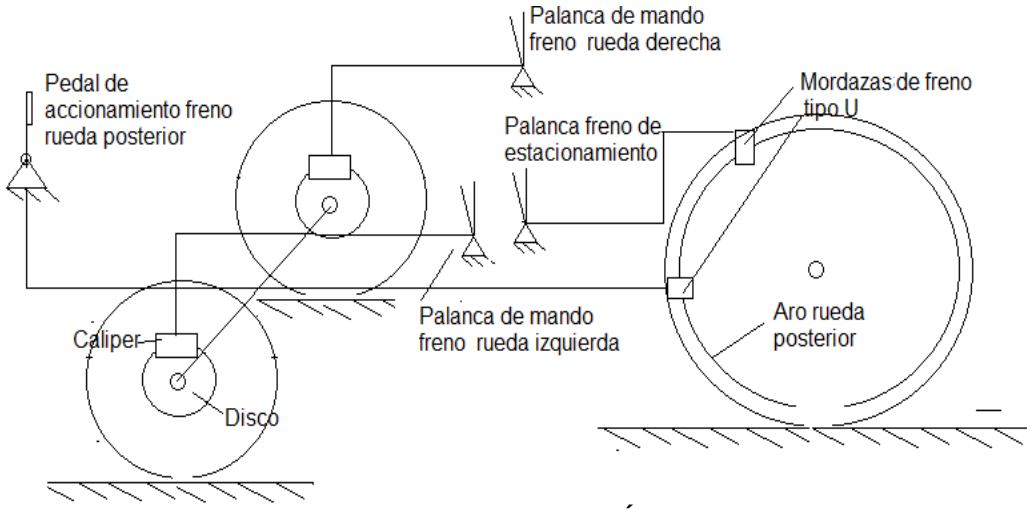


FIGURA 4.21 ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS

Los frenos del vehículo son de disco y son accionados de forma mecánica, por medio de cables de acero que transmiten la fuerza del conductor desde los mandos al actuador del caliper en las ruedas delanteras , y la mordaza tipo U en los frenos de la rueda posterior, para poner en contacto las superficies de fricción de los frenos y lograr el frenado del vehículo, además las palancas de control del sistema de frenos cuentan con un switch, que conectándolos en serie, permiten desconectar directamente la alimentación eléctrica del motor cuando se

activa los frenos, en la siguiente figura se muestra un detalle del sistema de frenos delanteros y posteriores.

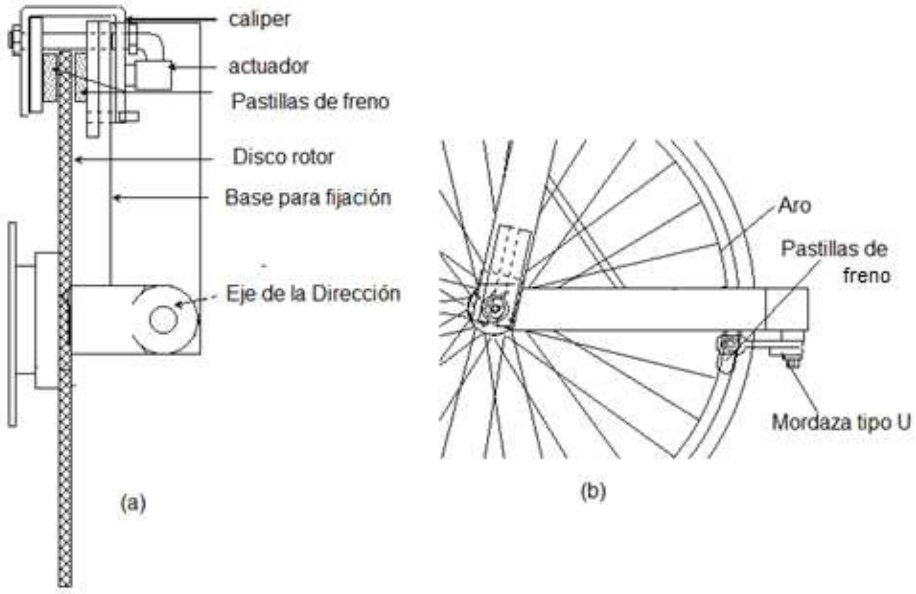


FIGURA 4.22 DETALLE DEL SISTEMA DE FRENOS DEL VEHÍCULO (A) FRENOS DE DISCO DELANTEROS (B) FRENOS DE MORDAZA TIPO U

4.4. Sistema de Transmisión de Energía Humana

Para el aprovechamiento de la energía humana se seleccionó el sistema de tracción de una bicicleta adaptando ciertas guías. La posición del conductor permite el uso de los pies para accionar los pedales que mediante una cadena transmite el movimiento directamente a la rueda posterior, generando la tracción necesaria para mover el vehículo.

En la distribución de las distintas partes de este sistema se consideró la forma del chasis, asi como también la posición del piloto y su respectivo asiento dentro del vehículo, de esta manera se evita que la cadena roce con cualquier otra parte del vehículo. Algunas de las partes del sistema están ilustradas y detalladas a continuación.

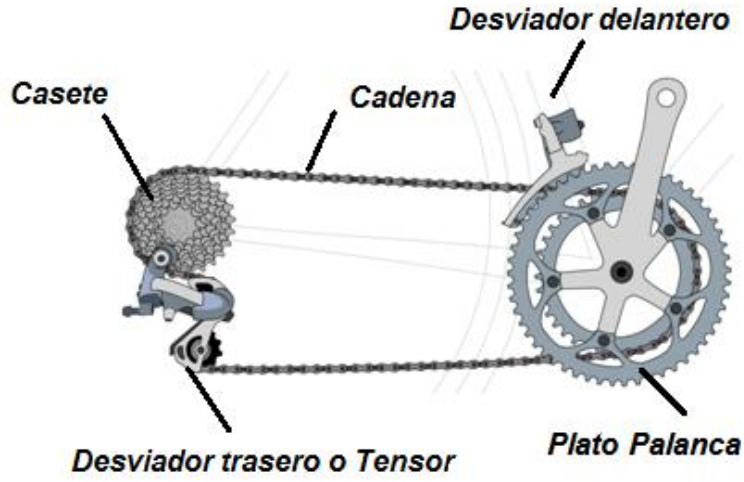


FIGURA 4.23 ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MECÁNICO

La primera parte en el sistema de pedaleo es el eje central que se ajusta dentro de una caja, que en una bicicleta forma parte de su cuadro, pero en este caso ha sido fabricada y está fijada con abrazaderas al chasis. Al eje central se le acopla por su lado izquierdo la biela y del otro se le adapta un plato palanca, se las posiciona apuntando en direcciones opuestas, es decir a 180°. El plato palanca contiene 3 juegos de piñones

de 53, 42, 30 dientes. Los pedales se adaptan a los extremos de las bielas, permite el contacto con la planta del pie para generar el movimiento.

Por medio de una cadena desde el plato palanca se transfiere el movimiento al casete, que es un grupo de 7 piñones apilados de 28, 24, 22, 20, 18, 16, 14 dientes, acoplados a la rueda trasera del vehículo, se acoplan enroscándose directamente con el rotor del motor.

La cadena se ubica en el piñón deseado utilizando el desviador delantero, que es un mecanismo que se acciona mediante un cable por medio de la palanca de cambios, se tienen dos desviadores, el del plato palanca o delantero y el del casete o trasero que hace mover la cadena entre los piñones. El desviador trasero también se lo denomina tensor, también hace el trabajo de tensar la cadena para que esta no se afloje y tenga riesgo en salirse de su posición, se la ubica por debajo del eje del casete. Al desviador delantero se lo ubica en el cuadro en una bicicleta, pero en el vehículo se lo adaptó un tubo que al chasis.

Debido a que la longitud entre el plato palanca y el casete es más larga que en una bicicleta común se tiene una cadena de mayor longitud y para que esta no interfiera al piloto, se coloco varias guías o ruedas dentadas que direccionan la cadena.

Todos los componentes mencionados anteriormente están ya fabricados de manera estandarizada, en su mayoría son de acero.

El plato palanca y el piñón de la rueda motriz, tienen z_1 y z_2 dientes respectivamente, con los cuales se obtiene las relaciones de trasmisión del sistema de transición mecánica, que permiten la variación entre el torque y velocidad en la rueda motriz, según se requiera por las condiciones de la vía, ya sea al ir por una pendiente cuesta arriba en la cual se requiere un aumento en el torque, o al ir cuesta abajo en la que se requiere un aumento en la velocidad. Las relaciones de transmisión se detallan en la siguiente tabla.

TABLA 9
RELACIÓN DE VELOCIDADES

		Z2						
		28	**24**	**22**	**20**	**18**	**16**	**14**
Z1	**53**	0,53	0,45	0,42	0,38	0,34	0,30	0,26
	42	0,67	0,57	0,52	0,48	0,43	0,38	0,33
	30	0,93	0,80	0,73	0,67	0,60	0,53	0,47

CAPÍTULO 5

5. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

5.1. Fundamentos

Energía Solar

El Sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares, su energía irradiada se da gracias a la fusión de átomos de deuterio para dar átomos de helio. Una parte de la energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, ésta recibe más energía del Sol en solo una hora que la utilizada por la población mundial en todo un año.

El flujo total de energía solar interceptada por la Tierra en un día determinado es de 4,2 x 10^{18} Wh, o 1,5 x 10^{22} J. Esto es equivalente a quemar 360 mil millones de toneladas de petróleo, de hecho, el consumo mundial total de todas las formas de energía del año 2000 fue de sólo 4,24 x 10^{20} J.

Distribución Espectral de la Radiación Solar

El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, pero debido al efecto de la fotosfera, que se encuentra aproximadamente a los 6000 K, el flujo de energía emitido corresponde al de un cuerpo a esa temperatura.

El siguiente gráfico muestra el espectro electromagnético de la energía solar que incide sobre un plano directamente frente al sol, fuera de la atmósfera de la Tierra a una distancia media desde el Sol hacia la Tierra.

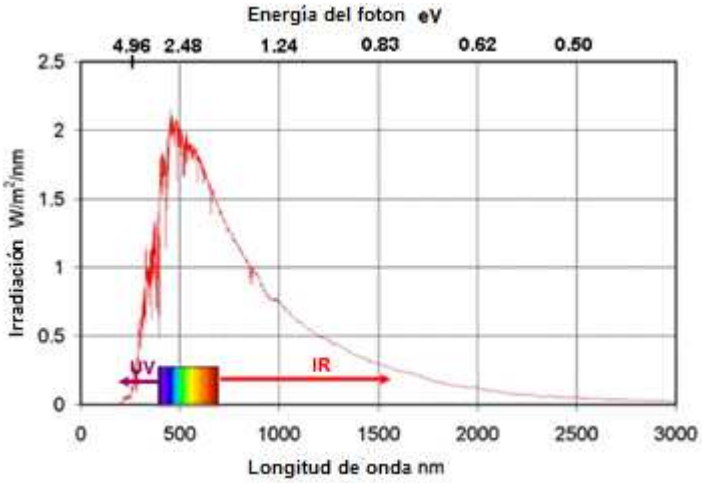


FIGURA 5.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La energía radiante que entra en el espectro visible es aproximadamente el 43% del total, con alrededor del 52% en la región infrarroja y un 5% en la región ultravioleta.

Irradiación e Insolación

Irradiación solar total se define como la cantidad de energía radiante emitida por el Sol en todas sus longitudes de onda (no sólo la luz visible), es todo el flujo de energía que incide en un plano perpendicular fuera de la atmósfera de la Tierra a una distancia determinada del sol. Es más o menos constante, fluctuando por sólo unas pocas partes por mil de día en

día. En la superficie exterior de la atmósfera de la Tierra a la radiación se conoce como la constante solar y es aproximadamente 1.367 W/m2.

La cantidad de energía solar que en realidad pasa a través de la atmósfera y golpea a un área determinada en la Tierra durante un tiempo específico se conoce como la radiación solar, la misma que varía con la fecha, latitud geográfica, el clima, la altura, etc.

Cuando el Sol está directamente encima, la energía incidente que llega de manera perpendicular sobre una superficie, suele ser de aproximadamente 1000 W/m2. Esto se debe a la absorción de la energía solar por la atmósfera de la Tierra, la misma que disipa cerca del 25% a 30% de la energía radiante. Siempre y cuando no existan nubes en el cielo que impidan el paso de la radiación solar se tendrá radiación directa, de lo contrario tendremos radiación difusa como se muestra en la figura siguiente.

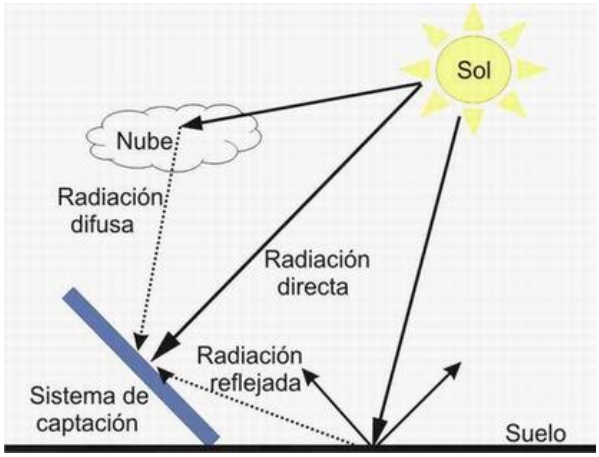


FIGURA 5.2 RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA

Ángulo de Incidencia

La cantidad de energía que incide sobre un panel es directamente proporcional a la superficie que recibe la radiación interceptada. Para capturar la energía óptima del colector, su superficie debe estar perpendicular a los rayos del sol, esto ocurre cuando el ángulo de incidencia es de 90°. Para una placa ubicada sobre el suelo esto sólo ocurre cuando el Sol está directamente sobre la cabeza como se ilustra en la figura 5.3.

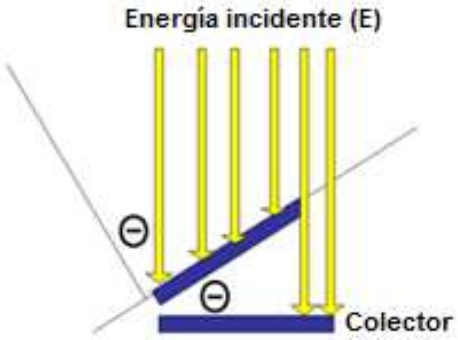


FIGURA 5.3 ENERGÍA INCIDENTE SOBRE UN PLANO INCLINADO

Masa de Aire

La masa de aire es una cantidad adimensional definida como el cociente entre la longitud del camino real de la radiación solar por la atmósfera y la longitud del camino vertical a través de la atmósfera a nivel del mar. Si la radiación solar no es perpendicular a la Tierra, la ruta de tránsito a través de la atmósfera de la Tierra será más larga y por lo tanto, la energía absorbida en el camino será mayor. El efecto de la ruta más larga a través de la atmósfera es aumentar la absorción de energía (o pérdida de energía) por un factor de **1/cosΦ** donde **Φ** es la desviación de la radiación con respecto a la vertical, también llamado el ángulo cenital o zenit.

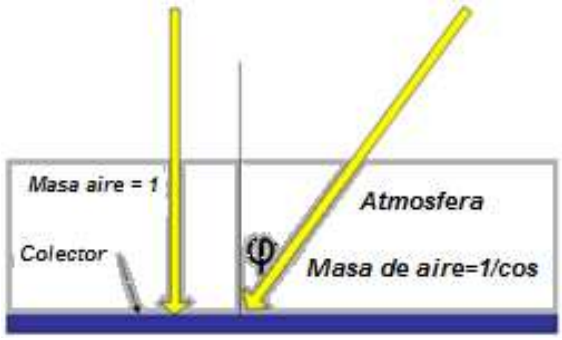


FIGURA 5.4 MASA DE AIRE

En el siguiente gráfico la energía directa es la energía recibida directamente del sol, mientras que la energía global incluye la energía difusa, dispersa o reflejada por las nubes y la energía re-radiada por la misma tierra.

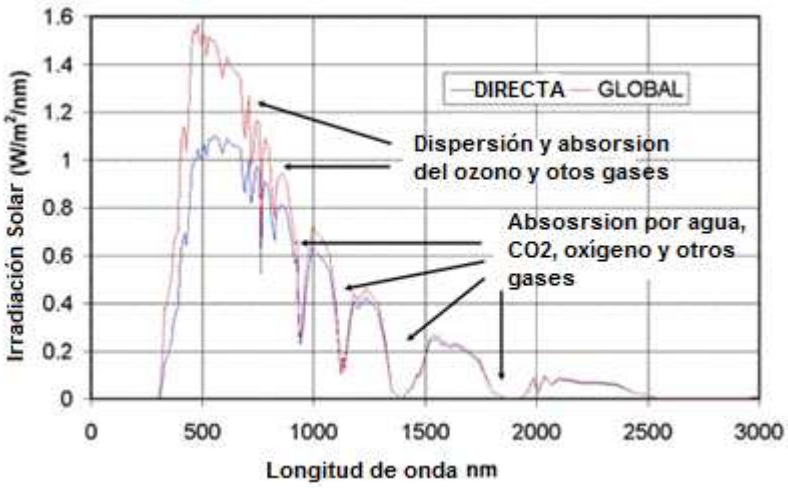


FIGURA 5.5 ESPECTRO SOLAR TERRESTRE

Variación Diaria de Radiación Solar

Debido a la variación en la intensidad de la radiación solar durante las horas del día y también por las variaciones en la duración del día es difícil hacer comparaciones de la energía del sol que se recibe sobre la Tierra en diferentes lugares. El gráfico siguiente muestra un ejemplo en el que la radiación solar llega a 1000 W / m ^{2} al mediodía cuando el sol está en su punto más alto en el cielo. La mayoría de las veces la energía incidente es inferior a este valor, ya que depende del ángulo de incidencia de los rayos del Sol con el suelo, aumentando durante el día a partir de un valor muy bajo en la madrugada hasta cuando el Sol se eleva a un máximo al mediodía y volver a caer cuando se opone el mismo.

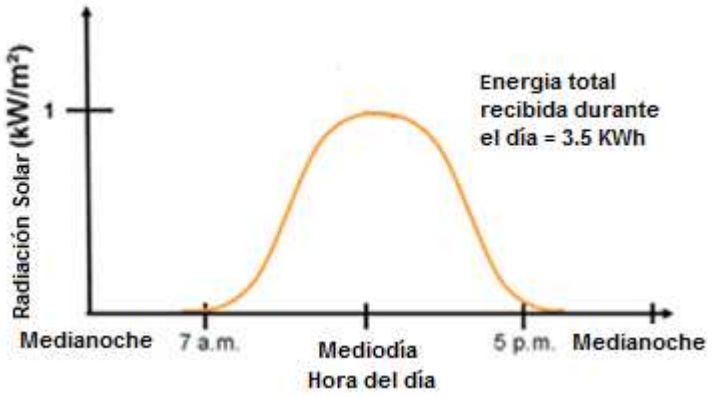


FIGURA 5.6 VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR DIRECTA DURANTE EL DÍA

5.2. Geometría y Posición del Sol

La orientación de los colectores y paneles fotovoltaicos con respecto a la posición del Sol es un factor determinante en la eficiencia del sistema de energía solar. La radiación solar varía con el tiempo y con la posición del panel en la superficie de la Tierra. Aunque la Tierra se mueve alrededor del Sol, para los efectos del cálculo de la energía interceptada por los paneles a menudo es conveniente suponer que la Tierra está inmóvil y el Sol se mueve en relación con la Tierra. Suponiendo que la Tierra no gira, la trayectoria aparente del Sol sigue un plano de dos dimensiones en el cielo llamado la eclíptica.

Posición

La posición del Sol en el cielo respecto a un observador en la Tierra se define por su altitud α (ángulo de elevación solar) y su ángulo azimut Ψ, como se muestra en el gráfico a continuación.

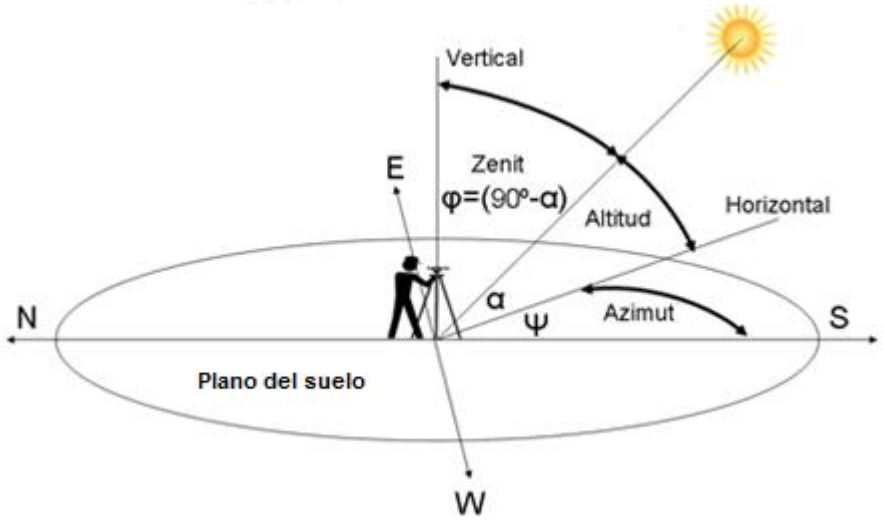


FIGURA 5.7 AZIMUT Y ALTITUD PARA LATITUDES AL NORTE DEL ECUADOR

La Tierra orbita el Sol con una vuelta al año en una órbita elíptica con el Sol en uno de los focos de la elipse. Debido a que la órbita es casi circular, el efecto de la órbita de la radiación solar se mantiene prácticamente constante durante todo el año. El consumo real de energía recibida a cualquier distancia desde el Sol está determinado por la ley del cuadrado inverso. Así, un cambio del 3% en la distancia da lugar a un cambio del 6% en la radiación.

Si la radiación solar incidiera perpendicularmente sobre el ecuador, el ángulo entre el plano de la superficie de la Tierra y la radiación solar

incidente aumentará gradualmente a medida que se alejan del ecuador hacia las latitudes superiores e inferiores con un ángulo **ϕ** igual a la latitud del observador. En este punto, el ángulo de altitud del Sol α será (90-**ϕ)** grados.

Este inconveniente puede ser superado al inclinar el colector de modo que sea perpendicular a los rayos del sol. El grado de elevación de la horizontal o el ángulo de inclinación, debe ser igual al ángulo de la latitud **ϕ** de la ubicación del panel o colector. En el hemisferio sur la dirección del panel debe apuntar hacia el norte y en el hemisferio norte apuntar hacia el sur. Pero, el Sol no parece seguir un camino constante en el plano ecuatorial de la Tierra, de hecho, el Sol está inmóvil y el efecto se debe a la inclinación del eje de rotación de la Tierra.

La Inclinación de la Tierra

El eje de rotación de la Tierra está inclinado aproximadamente 23,45 grados respecto al plano de su órbita. Esta inclinación es esencialmente constante, mantenida en esa dirección debido a la acción giroscópica de

la rotación de la Tierra, sin embargo, durante períodos de tiempo muy largo medido en miles de años, la dirección del eje de la Tierra cambia lentamente debido a la precesión giroscópica.

La orientación fija en el espacio del eje de la Tierra en su órbita alrededor del Sol determina la duración del día y crea las estaciones. En el solsticio del mes de Junio, el día más largo en el hemisferio norte, los rayos del Sol inciden perpendicularmente en el trópico de cáncer, en cambio en el solsticio de Diciembre, el día más corto en el hemisferio norte se produce cuando la Tierra ha recorrido 180 grados alrededor de su órbita y los rayos del Sol caen perpendicularmente sobre el trópico de capricornio.

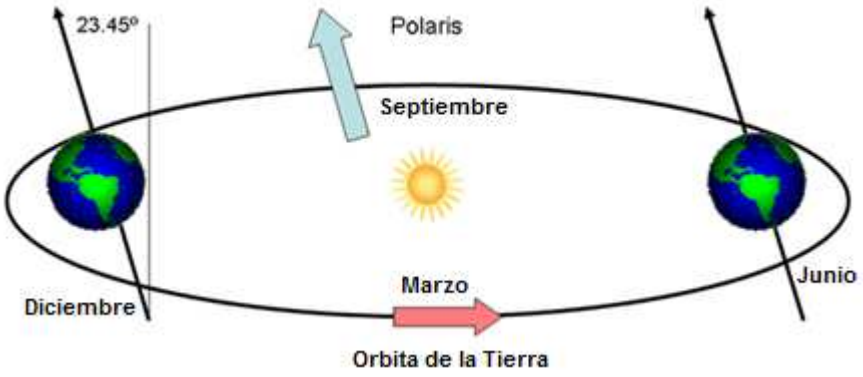


FIGURA 5.8 ÓRBITA DE LA TIERRA

Los equinoccios de primavera y de otoño, en Marzo y Septiembre, cuando el día y la noche tienen la misma duración, se producen cuando la Tierra está a medio camino entre los solsticios. En los equinoccios la radiación solar incide de manera perpendicular sobre la línea del ecuador.

Desde la Tierra parece que el eje de rotación de la Tierra está oscilando hacia atrás y hacia adelante. La inclinación aparente del eje de la Tierra corresponde a la posición angular del Sol en su punto más alto en el cielo con respecto a un punto de observación en el plano del ecuador, a este ángulo se lo denomina declinación solar (δ).

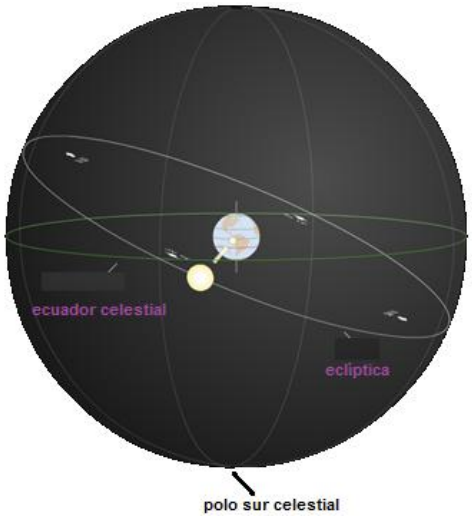


FIGURA 5.9 ECLÍPTICA Y ECUADOR CELESTIAL

Como resultado de la inclinación de la Tierra, la intensidad de la radiación solar varía a lo largo del año dando lugar a las diferentes estaciones.

5.3. Descripción de la Zona de la Competencia “La Ruta Solar”

El desierto de Atacama es el desierto más seco del mundo con un promedio de lluvias de 0.5mm al año. Hay zonas en donde no existe ningún tipo de vida y es lo más parecido a Marte que existe (se prueban vehículos de la NASA en estas zonas).

Su clima es seco durante el día, llegando a 45°C a la intemperie durante el día y bajo cero durante la noche. La radiación solar es extrema. Durante la noche llegan unos bancos de niebla muy cerrada llamados camanchaca proveniente de la costa y que se dirigen a la cordillera que son la única fuente de agua a algunas plantas (tundras) que crecen en algunas zonas.

Lo que llama la atención es el efecto espejismo producto de la refracción en la carretera. A lo lejos verán siempre como que la carretera los

confunde con un charco de agua aparente. Ello produce un efecto de adormecimiento por este efecto mezclado por la monotonía del paisaje.

Día 1.- Humberstone-Antofagasta

La ruta es pavimentada y tiene varios sectores sin berma. Es una ruta recta sin grandes pendientes ni curvas y paralela al mar (Norte-Sur) a unos 600 m. de altura promedio. El tramo es el más complicado debido a que probablemente tenga la peor calidad de carretera. La zona más peligrosa comienza en el cruce con el rio Loa en el km 170 aproximadamente desde el punto de partida. Esta zona de 55 Km. está llena de baches y hoyos de gran calado por lo que se sugiere extremar las medidas de precaución y no superar los 50 Km/h.

Igualmente hay que tener cuidado con los fuertes vientos transversales que cruzan la ruta en algunos tramos en forma intermitente que pueden fácilmente sacar de la ruta un vehículo muy liviano. Igualmente con los grandes camiones que cruzan de frente a alta velocidad provocando un vacio que mueve a los vehículos. La ruta no es muy transitada.

FIGURA 5.10 VISTA SATELITAL DEL RECORRIDO DEL PRIMER DÍA

Día 2.- Antofagasta (Alto)-Calama

La ruta es bastante buena, sin baches notables, y comienza a unos 660 m. de altura en las afueras de Antofagasta. Esta ruta va directo de la cordillera hasta el mar (oeste-este). En el Km. 63 la altura ya llega a 1300 m. y en el Km. 83 a 1600 m. sobre el nivel del mar. En el Km. 137 se llega a los 2000 m. de altura llegando a Calama en el Km. 170 a unos 2200 m. de altura. La principal dificultad en este tramo es la diferencia de altura pero se compensa con la poca pendiente y buena calidad. Al llegar se tiene a la vista las zonas más áridas y desérticas de la región.

Con la cordillera al fondo y algunas montañas nevadas que se observan en el horizonte donde hay puntos fronterizos con Argentina y Bolivia.

FIGURA 5.11 VISTA SATELITAL DEL RECORRIDO DEL SEGUNDO DÍA

Día 3.- Calama-Pozo Almonte (Iquique)

Al salir de Calama, volviendo al oeste, se cruza una cuesta que llega a los 3000 m. de altura por ello el punto de partida se ubica a 32 Km. de la ciudad, en la zona posterior a esa cuesta. Desde ahí se desarrolla una larga recta de 45 Km, bien pavimentada y con poco tráfico y que desciende unos 1300 m. hasta llegar a la intersección de la ruta ya seguida entre Iquique y Antofagasta. Es una larga bajada de poca pendiente con gran visibilidad. Una vez en el cruce con la ruta mencionada en el tramo 1, se retorna a Pozo Almonte; en el Km. 70 se

inicia el tramo más peligroso lleno de baches y hoyos el que llega hasta el cruce con el rio Loa. Luego la ruta continúa hasta el pueblo Pozo Almonte.

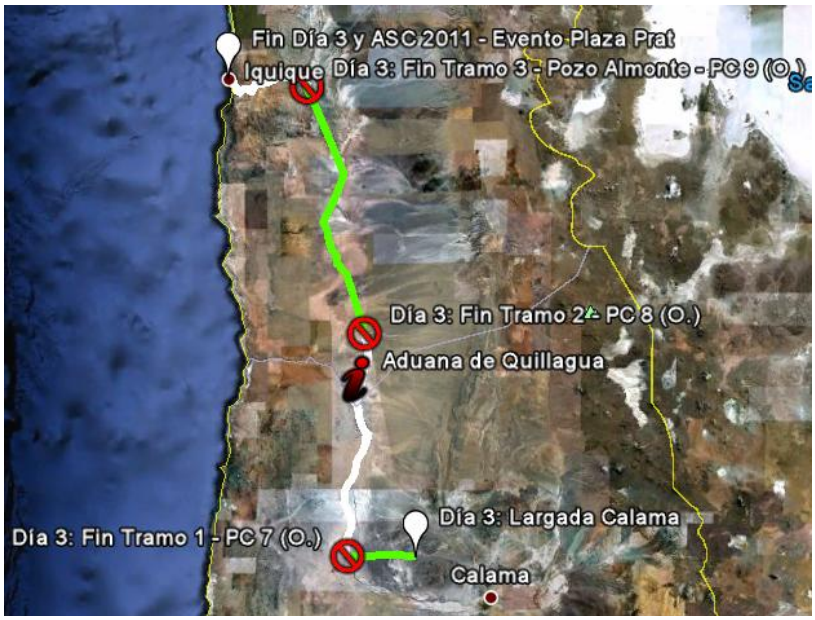


FIGURA 5.12 VISTA SATELITAL DEL RECORRIDO DEL TERCER DÍA

5.4. Estimación de la Energía Solar Disponible

Según las reglas de la competencia el área máxima permitida para el panel solar es de 3 m^2 por lo que en el diseño se trató de ocupar la mayor cantidad de espacio para obtener más energía y mejorar el rendimiento del vehículo, con estas consideraciones sobre este entran 3 paneles hechos a la medida del vehículo que en total da 105 celdas

fotovoltaicas monocristalinas de 156 mm x 156 mm, estas fueron seleccionadas por ser de alta calidad asi como también de gran rendimiento, las especificaciones técnicas y la teoría de la celdas se encuentran en el capítulo 6, ahora lo que se tiene que saber para calcular la energía obtenida del sol, es la potencia promedio, la misma que es de 3.7 W, por lo que en total las 105 celdas entregan una potencia promedio de 388.5 W, es importante señalar que esta potencia se obtiene cuando las condiciones del medio son óptimas, estas condiciones son: radiación solar de 1000 W/m2, temperatura de 25 °C, masa de aire 1.5 (radiación perpendicular sobre la celda)**.** El siguiente paso es conocer en qué dirección inciden los rayos solares sobre la Tierra en la fecha de la competencia, a este ángulo se lo denomina declinación solar (δ) y se lo calcula con la siguiente fórmula.

$$\delta = 23.5 \operatorname{sen} \frac{180(\mathrm{D}-82)}{182{,}5} \qquad 5.1$$

Donde D representa el día del año desde el 30 de Septiembre al 2 de Octubre, siendo los días 273, 274 y 275 respectivamente. Entonces por ejemplo el 1 de Octubre se tiene que la declinación solar es -3.83°, esto quiere decir que la radiación solar incide de manera perpendicular en la

latitud sur 3.83°, en el siguiente gráfico se muestra la dirección con que los rayos solares inciden sobre la Tierra el 1 de Octubre.

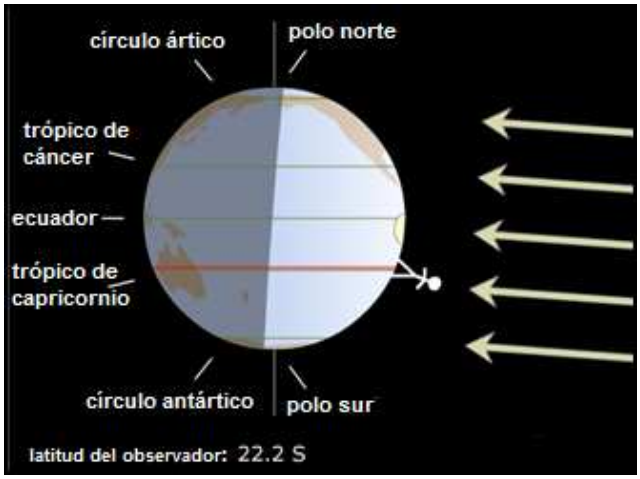


FIGURA 5.13 INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA TIERRA

Conociendo la declinación solar lo que se tiene que conocer es cómo estos rayos solares inciden relativamente sobre un observador que se encuentra en una latitud ϕ determinada. En el lugar donde se desarrolló la competencia la latitud varió desde -20.21° hasta -23.65°. Entonces se tiene que el valor mínimo del zenit φ, se calcula restando la latitud promedio en cada día de la competencia menos la declinación solar, este valor representa el ángulo de incidencia de la energía solar.

$$\varphi_{\min} = \phi_p - \delta \qquad 5.2$$

Por ejemplo, el 1 de Octubre se tiene que el valor del zenit mínimo es de -18,50°, el valor es negativo porque la radiación esta desviada hacia el sur como se muestra en la siguiente figura.

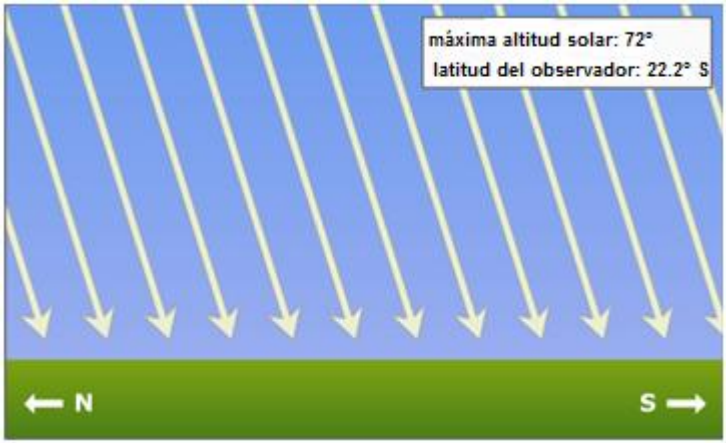


FIGURA 5.14 INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL ZENIT

Ahora se conoce la posición del Sol cuando está en el punto más alto en ese día, pero esto solo ocurre en un instante determinado generalmente cerca del medio día, pues dicha posición varía dependiendo de la hora, es por esto que es necesario calcular el ángulo de incidencia durante todo el tiempo que dure la competencia mediante la siguiente fórmula.

$$\varphi = 90° - \left(90° - \left|\varphi_{\min}\right| \pm \theta\right) \operatorname{sen} \frac{180(\mathrm{T}-\mathrm{SR})}{\mathrm{DL}} \qquad 5.3$$

Donde T es la hora determinada, SR representa la hora del amanecer y DL corresponde a la duración del día, SR y DL dependen de la longitud geográfica y del huso horario en el que se encuentre, tanto la longitud como la latitud no es constante, es por esto que SR se la encontró haciendo referencia al amanecer en la longitud de partida y DL haciendo referencia en la longitud de llegada, el huso horario se mantiene constante siendo que para esta fecha en esta zona sea UTC-3, los datos de SR y DL se los encontró en la página de internet http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneDay.php; los valores de T, SR y DL deben de estar en hora decimal para usarlos en la fórmula anterior.

La variable Θ corresponde al ángulo entre el panel y la horizontal, este ángulo será positivo o negativo según sea la dirección por la que se dirige el vehículo y tendrá relevancia si se va de Norte a Sur o viceversa, sin el vehículo va de Este a Oeste o viceversa el valor de Θ será cero, los valores de Θ se muestran en el gráfico siguiente.

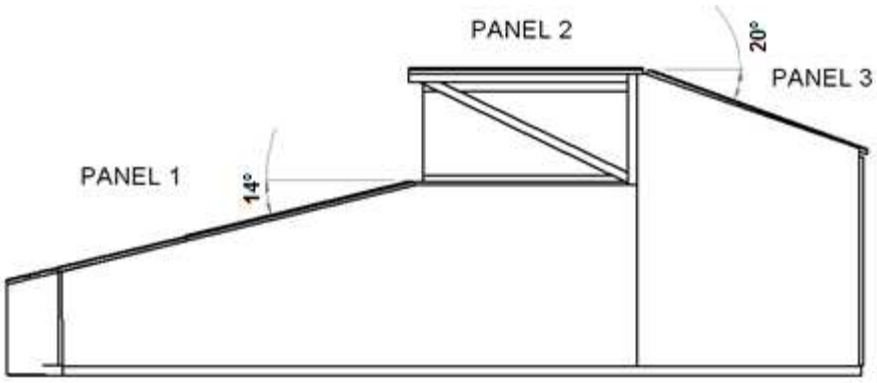


FIGURA 5.15 ESQUEMA INCLINACIÓN DE LOS PANELES EN LA CARROCERÍA

El panel 1 tiene 49 celdas y un ángulo Θ1 de 14°, el panel 2 que esta a 0° tiene 28 celdas, el mismo número de celdas tiene el panel 3 que se encuentra a un ángulo Θ2 de 20° con respecto a la horizontal.

En la estimación de la energía solar en el día 1, en el cual el recorrido predominante es de Norte a Sur, Θ1 es 14° y Θ3 es -20°, en el día 2 a la dirección se la ha considerado de Oeste a Este, por lo que Θ tendrá el valor de cero, y finalmente para el día 3, el vehículo se moviliza la mayor parte del tiempo de Sur a Norte con los ángulos Θ1 y Θ3 de -14° y 20° respectivamente. Los datos que se utiliza en las fórmulas anteriores se encuentran en la siguiente tabla.

TABLA 10
DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA SOLAR

	Día 1	**Día 2**	**Día 3**
Fecha	30-Sep.	1-Oct.	2-Oct.
Día (D)	273	274	275
Dirección	Norte-Sur	Oeste-Este	Sur-Norte
Latitud al inicio (ϕo) (°)	-20,21	-23,65	-22,45
Latitud al final (ϕf) (°)	-23,65	-22,45	-20,22
Latitud promedio (ϕp) (°)	-21,93	-23,05	-21,34
Declinación Solar (δ) (°)	-3,43	-3,83	-4,22
Zenit mínimo (φ min) (°)	-18,50	-19,22	-17,11
Amanecer (SR)	7,37	7,37	7,27
Duración del día (DL)	12,29	12,30	12,30

El tiempo de competencia fue de 9 horas por jornada, en el día 1 a partir de las 9h30 hasta las 18h30, en el día 2 y 3 a partir de las 9h00 hasta las 18h00, a estos intervalos de tiempo se los dividió en 108 partes de 5 minutos, de este intervalo se obtuvo el promedio (T), el mismo que sirvió para calcular el zenit de la posición del sol (φ).

Entonces la potencia de cada panel es:

$$\text{Potencia del panel} = \#\text{celdas} \times \text{potencia promedio} \times \cos(\varphi) \qquad 5.4$$

Las tablas de potencia obtenida de los paneles fotovoltaicos se encuentran en el apéndice. En la tabla y gráfico siguiente se tiene representado el porcentaje de energía que entrega cada panel durante los tres días de competencia, estos valores no se mantienen constantes porque el recorrido en cada día es diferente.

TABLA 11
PORCENTAJE DE ENERGÍA TOTAL DADA POR LOS PANELES

	Panel 1	Panel 2	Panel 3
Día 1	43,16%	27,68%	29,17%
Día 2	46,67%	26,67%	26,67%
Día 3	53,24%	27,14%	19,62%
Promedio	47,69%	27,16%	25,15%
Desviación estándar	5,12%	0,51%	4,95%

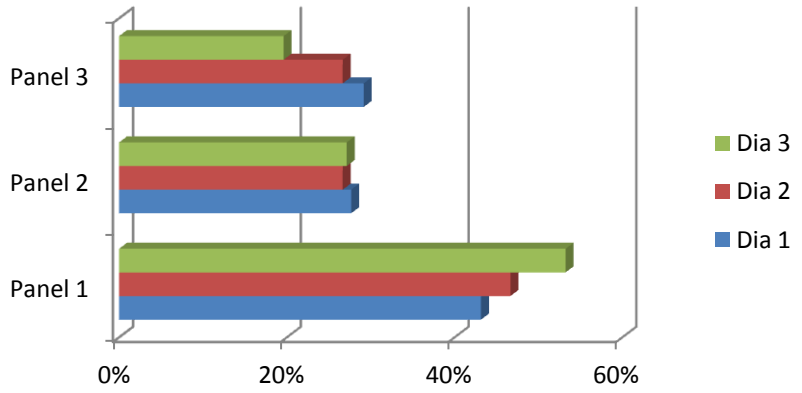


FIGURA 5.16 ENERGÍA ESTIMADA EN LOS PANELES DURANTE LOS DÍAS DE LA COMPETENCIA

Al sumar la potencia de los tres paneles se encuentra la potencia total del arreglo fotovoltaico, es decir las 105 celdas trabajando en conjunto. A continuación observamos el comportamiento que tiene la potencia de dicho arreglo con la hora del día en el gráfico siguiente.

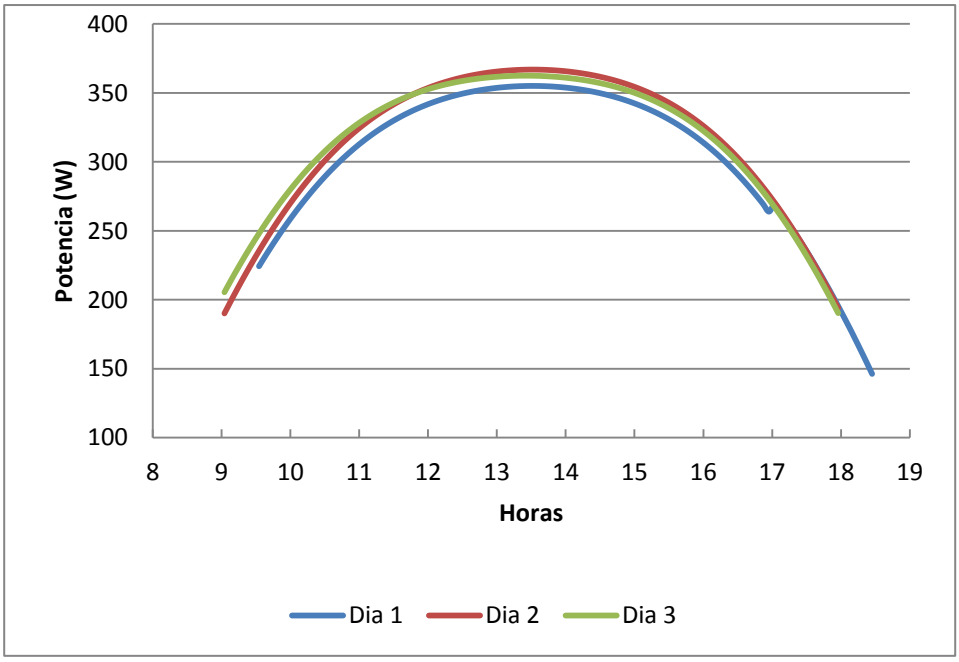


FIGURA 5.17 POTENCIA ESTIMADA DE LOS PANELES DURANTE LOS DÍAS DE LA COMPETENCIA

Finalmente para obtener la energía solar, se integro la potencia en el tiempo aproximando el área bajo la curva de la misma, se hizo una sumatoria de la multiplicación de la potencia por el lapso de tiempo que es 5 minutos que equivale a 1/12 hora, como se indica en la siguiente

fórmula: $\text{Energia Solar} = \sum \text{Potencia celdas} \times \Delta$. Por lo tanto la energía obtenida cada día está representada en la siguiente tabla.

TABLA 12
ENERGÍA SOLAR ESTIMADA EN LA COMPETENCIA

Día	Energía Solar (Wh)
1	2712,40
2	2837,07
3	2835,88
Total	***8385,36***

El resultado es que la energía solar que se puede obtener con los paneles fotovoltaicos durante la hora señalada y durante los 3 días de competencia es de aproximadamente 8.39 KWh, este dato será necesario para calcular el dimensionamiento correcto de las baterías y no sobrepasarse en los límites de esta fuente de energía descritos en las bases del concurso.

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.

6.1. Celdas Fotovoltaicas

Cuando un material entra en contacto con los rayos del sol, algunos de sus fotones tienen la energía suficiente para impactar y mover un electrón (e-) fuera de la órbita del átomo de dicho material creando un agujero (h+) que no es otra cosa que un átomo que pierde un electrón, el electrón se mueve libremente en el material de forma aleatoria mientras que el agujero puede ser llenado quitándole un electrón al átomo cercano y de esta manera el agujero migra en el material mientras que el agujero puede ser llenado quitándole un electrón al átomo cercano y de esta manera el agujero migra en el material.

La incidencia de la luz del sol va a crear muchos pares electrón-agujero, la densidad de los mismos es proporcional a la intensidad de la radiación solar, existiendo la posibilidad de obtener el potencial para la generación de energía eléctrica si se hace de manera organizada y controlada como se muestra en la siguiente figura.

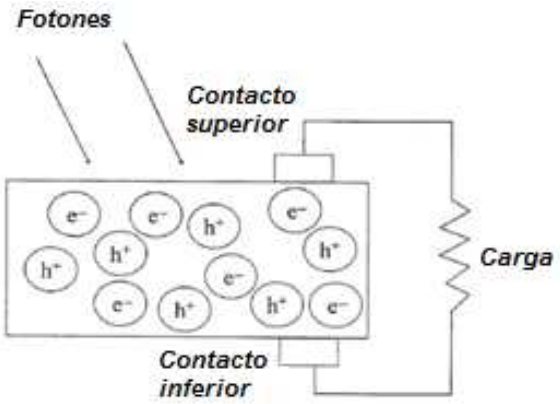


FIGURA 6.1 PARES ELECTRÓN-AGUJERO EN UN MATERIAL CON CARGA CONECTADA

Muchos materiales, por lo general el silicio puede ser dopado con impurezas u otros elementos generando versiones de material de tipo n y de tipo p, el material de tipo n atrae a los electrones y repele los agujeros y los del tipo p atrae a los agujeros, repeliendo a los electrones, por lo tanto las celdas fotovoltaicas se fabrican poniendo una capa tipo n en la parte superior de una capa de tipo p en la parte inferior.

Cuando el fotón libera al electrón este tiende a migrar a la parte superior o al material de tipo n, mientras que el agujero tiende a migrar hacia el material tipo p, la unión forma una barrera, que tiende a mantener a los electrones y a los agujeros separados, los electrones tienen cargas iguales haciendo que se repelen entre sí y, lo mismo sucede con los agujeros, esto se ilustra en la siguiente figura.

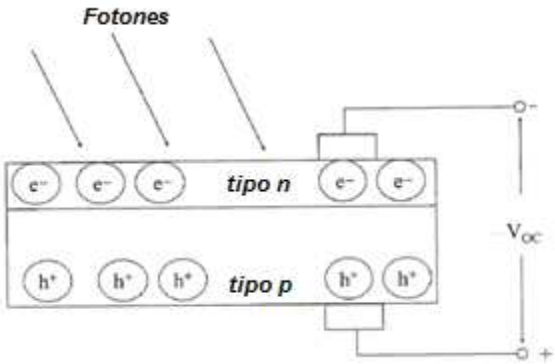


FIGURA 6.2 ESQUEMA DE UNA CELDA SOLAR

Entre la parte superior e inferior habrá una diferencia de carga, provocando una diferencia de potencial o un voltaje de circuito abierto que depende del material de la celda y de la intensidad de la luz del sol, esta tensión es la máxima que puede alcanzar la celda, pero si un cable (resistencia cero) se conecta desde la parte superior hasta la inferior, los electrones fluirán por alambre y se recombinan con los agujeros en la parte inferior, el voltaje a través de la celda se reduce a cero y la

corriente que fluye a través del cable es la corriente de corto circuito que depende del material, la intensidad de la luz del sol, y de cómo los cables están diseñados.

Es decir la celda solar es una unión n-p, tratándose básicamente de un diodo especial, que al no recibir luz solar la corriente fluirá libremente en una dirección previniendo que vaya en la otra dirección, teniendo en cuenta que la celda solar genera corriente en la dirección opuesta al paso libre de corriente como en un diodo se tendría que considerar lo siguiente:

- Si un panel solar está cargando las baterías se debe incluir un interruptor en el circuito, que se utiliza para evitar que las baterías se descarguen cuando hay energía solar a través del panel, como se muestra en la figura.

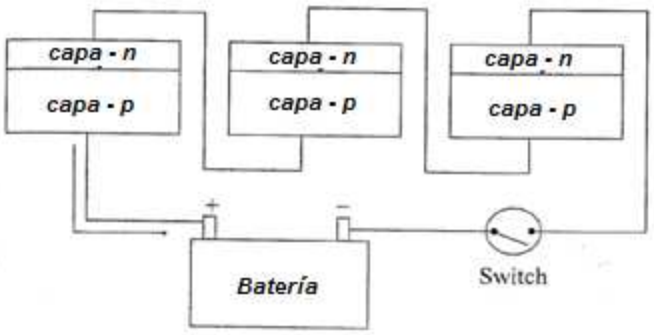


FIGURA 6.3 CONEXIÓN EN SERIE DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

- Si una sola celda en el arreglo fotovoltaico no recibe la radiación solar, entonces el panel no generará ninguna corriente, porque esta celda actuará como diodo impidiendo el paso de la corriente, incluso si las otras celdas reciben radiación directa, lo que quiere decir que el arreglo se ajusta a la corriente de la celda que recibe la menor cantidad de energía.

A continuación se tiene un ejemplo de ilustración de cómo varía la corriente y el voltaje en la celda fotovoltaica, es importante destacar que existe un punto determinado en el cual se obtiene una potencia máxima, esta varía linealmente con la intensidad de la luz solar, es decir que a mayor radiación mayor es la potencia.

También está en función de la temperatura de la celda, a mayor temperatura se tiene menos potencia, se tiene que por cada 1°C de incremento de la temperatura la potencia se reduce aproximadamente 0.3%.

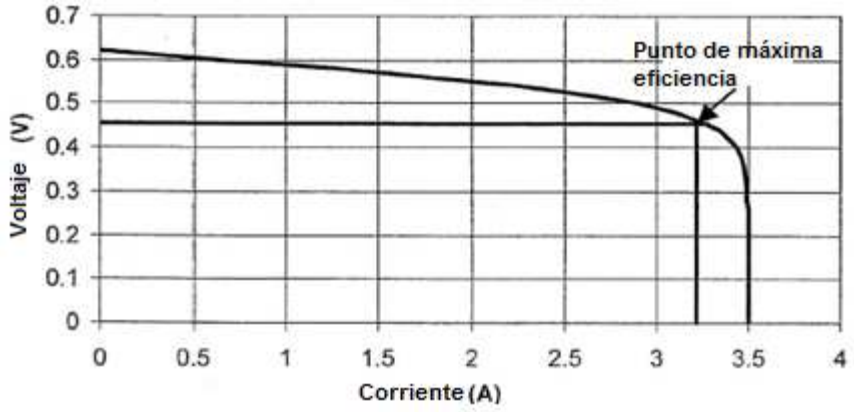


FIGURA 6.4 VOLTAJE VS CORRIENTE EN UNA CELDA FOTOVOLTAICA TÍPICA

Arreglo Fotovoltaico

Los paneles solares ya fabricados vienen en medidas estándares, pero se decidió fabricar los paneles para ocupar toda el área disponible, generando de esta manera una máxima potencia, esta decisión se la tomo en conjunto con la forma de la carrocería, ya que dependiendo de esas dimensiones se obtiene el número de celdas que se puede ubicar; estas celdas son mono cristalinas de grado “A” fabricadas en los Estados Unidos.

De forma cuadrada con 156 mm por cada lado, se fabrican a partir de lingotes de silicio, las celdas tienen tres conductores en la parte superior e inferior, la parte frontal es de color azul, en los cuales están los terminales negativos de la celda, en cambio en la parte inferior están los terminales positivos, los conductores de la parte superior e inferior están hechos de plata.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas de la celda.

TABLA 13
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS SELECCIONADAS

	Mínimo	Máximo
Potencia (W)	3,6	4,1
Voltaje circuito abierto (V)	0,610	0,621
Corriente de cortocircuito (A)	8,18	8,78
Voltaje de operación (V)	0,488	0,500
Corriente de operación (A)	7,51	8,14
Peso (g)	6	

Es importante entender los conceptos de conexión en serie y en paralelo para hacer un panel solar, en la conexión en serie de las celdas aumenta el voltaje del sistema, pero el amperaje o corriente se mantiene constante, en cambio la conexión en paralelo aumenta el amperaje, pero

no el voltaje. En la conexión en serie se conecta el terminal positivo de una celda con el terminal positivo de la otra celda. En la conexión en paralelo se conecta el terminal positivo de todas las celdas entre sí. Se puede utilizar una combinación de conexiones en serie y paralelo para obtener el voltaje y el amperaje necesario.

Para el arreglo fotovoltaico se decidió conectar en serie para lograr el voltaje necesario para cargar las baterías y alimentar de energía al sistema de potencia; en la carrocería del vehículo caben 105 celdas que están divididas en 3 paneles con 28 celdas cada uno, un panel de 7 celdas llamado alternativo el cual se conecta o desconecta en serie con los paneles 1, 2, 3 (dependiendo de las condiciones solares), aumenta el voltaje de alimentación de la fuente.

En la siguiente figura se muestra la configuración del arreglo fotovoltaico del vehículo.

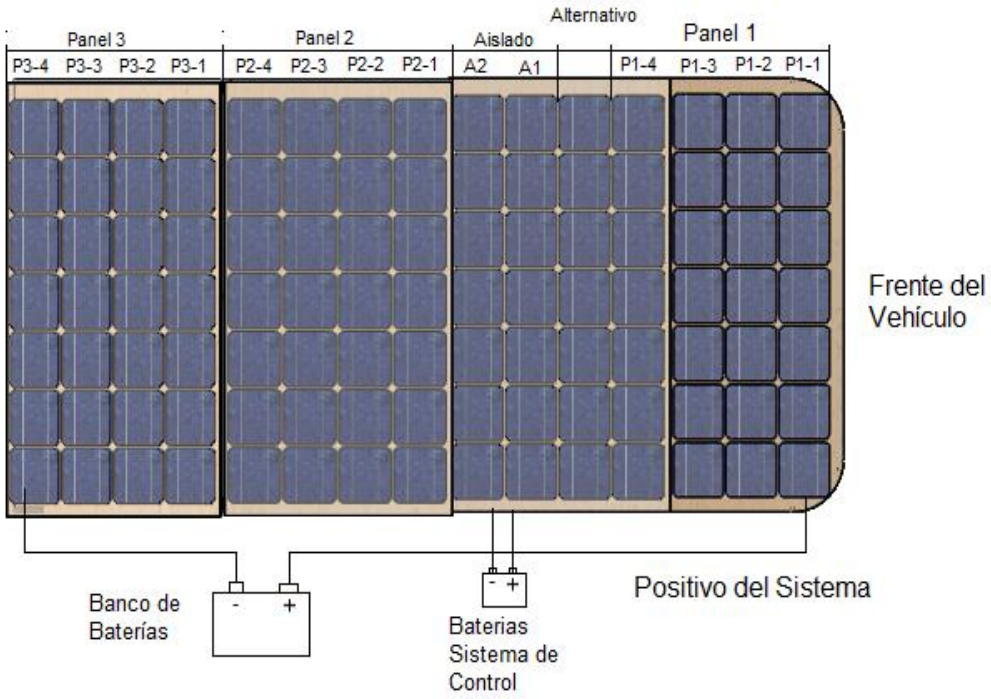


FIGURA 6.5 CONFIGURACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

El grupo de celdas que conforman el panel aislado está configurado para alimentar de energía eléctrica a las baterías de la tarjeta del sistema de control, que alimenta a su vez a las luces desde el tablero de control, el tablero también indica el estado de funcionamiento de las baterías, además de la señal de control a las bobinas para la conmutación de las baterías.

Características Eléctricas de los Paneles Fotovoltaicos

Un panel fotovoltaico (PF) puede ser modelado como una fuente de corriente directa en paralelo con un diodo (D) y en serie con una resistencia (R). El diodo representa en gran parte los fenómenos que suceden en la junta n-p de la celda fotovoltaica y por este circula una corriente (ID) que varía con la tensión. La resistencia representa en parte las pérdidas por temperatura y la caída de tensión en el semiconductor que constituye la celda fotovoltaica, por esta circula la corriente I.

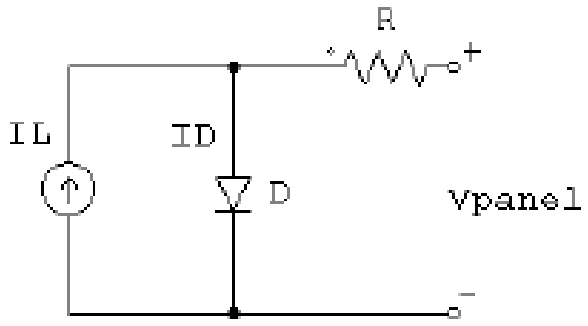


FIGURA 6.6 ANALOGÍA DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA Y UN CIRCUITO ELÉCTRICO

Sin embargo este modelo es una aproximación, ya que los parámetros de funcionamiento del PF varían con la temperatura ambiental y con las condiciones de radiación solar en el lugar. En la siguiente tabla se muestran las características eléctricas teóricas del arreglo fotovoltaico.

TABLA 14
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS TEÓRICAS DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO

	Mínimo	Máximo
Potencia (W)	378	430,5
Voltaje circuito abierto (V)	64,05	62,205
Corriente de cortocircuito (A)	8,18	8,78
Voltaje de operación (V)	51,24	52,5
Corriente de operación (A)	7,51	8,14

En los paneles fabricados la celdas están apoyadas y sujetas a una base, en un panel convencional la base está conformada por un polímero llamado EVA (Etileno Vinil Acetato), en este se decidió utilizar madera de balsa ecuatoriana, debido a la gran ventaja competitiva que brinda para la fabricación de los paneles solares, por su característica de ser muy liviana con relación a su volumen. Para formar la base de los paneles fotovoltaicos, que a su vez cubre la parte superior del vehículo, se utiliza tableros de balsa reforzada de 10 mm de espesor, ofrecen una excelente resistencia y permeabilidad, a la vez que, amortigua las vibraciones mecánicas, lo cual evita la fractura de las celdas fotovoltaicas, además sirve como aislante de calor, para comodidad del piloto y protección de los componentes en el interior del vehículo solar.

Para proteger las celdas en un panel convencional se utiliza vidrio templado, pero por motivo de cumplir el objetivo del diseño de optimizar el peso, se reemplazó por acrílico de 3 mm de espesor, el mismo que tiene una transitividad de luz de 97%, siendo esta parecida a la del vidrio, pero es mucho más liviano que este, sin embargo se tiene que considerar que su resistencia mecánica es menor y su coeficiente de expansión térmica es mayor. La imagen siguiente muestra la configuración del panel fotovoltaico.

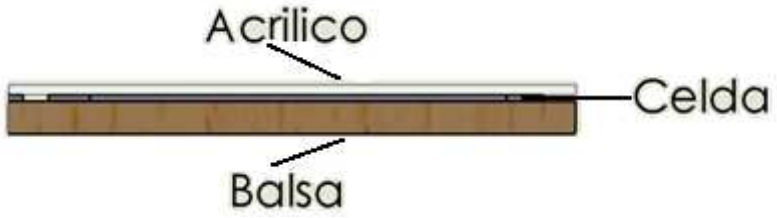


FIGURA 6.7 ENSAMBLE DEL PANEL FOTOVOLTAICO

6.2. Regulación de la Energía Solar

Fundamentos

Cuando se tiene a los paneles solares trabajando en conjunto con baterías pueden ocurrir los siguientes casos:

- Si el voltaje de la batería es igual al voltaje del arreglo en el punto de máxima potencia el sistema es casi 100% eficiente.

- Si el voltaje de la batería está por debajo del voltaje del arreglo fotovoltaico, la eficiencia se aproxima a la relación que existe entre tensiones que sería alrededor del 75%.

- Si el voltaje de la batería está por encima del voltaje del panel, la eficiencia disminuye drásticamente.

- Si el voltaje de la batería está por encima del voltaje del circuito abierto, no se produce el flujo de energía.

La forma más sencilla de utilizar un panel solar es conectarlo directamente a las baterías cuando se tiene las celdas necesarias conectadas en serie para que la tensión del arreglo sea más alta que el voltaje de las baterías, asegurando que se carguen, este método de cableado es simple, barato y fiable, pero no del todo eficiente pues depende de la relación de voltajes entre los paneles y las baterías.

Entonces para cumplir los objetivos de obtención de máxima eficiencia en los sistemas, el voltaje de los paneles debe coincidir con el voltaje de las baterías, con el punto de potencia máxima de los paneles, por ello la mayoría de los paneles utilizan convertidores de voltaje también llamados reguladores, estos operan más eficientemente cuando el voltaje del arreglo fotovoltaico es ligeramente más alto que el voltaje en las baterías, este es el papel de este dispositivo que aumenta la cantidad de energía de los paneles entre un 20 a 25% más que la configuración del cableado directo, estos reguladores tienen una eficiencia de entre el 97 al 99%. El uso del regulador asegura la entrega de energía a las baterías manteniendo el voltaje del sistema sin importar que las celdas sufran un daño reduciendo su voltaje, siempre y cuando estén dentro del rango que acepta el dispositivo.

Selección del Regulador Solar

Los factores más importantes para la determinación y selección de este dispositivo son los voltajes de circuito abierto (Voc) del arreglo fotovoltaico y la temperatura ambiental de funcionamiento.

Con el voltaje de circuito abierto de 64 Vdc se busca el regulador adecuado, este valor depende de la temperatura del panel fotovoltaico y en caso que sobrepase la tensión de entrada máxima del regulador, este quedará defectuoso, ya que entre más baja es la temperatura más alto es el voltaje Voc.

Se escoge un regulador que funcione en el punto donde la potencia entregada por la celda sea la máxima posible, como el regulador de carga MPPT, el mismo que sigue el punto de trabajo del modulo solar hasta el punto de máxima potencia instantánea, debido a esto el panel solar aumenta su rendimiento.

Características Técnicas del Regulador TriStar TS-MPPT-45

Es un avanzado controlador de carga de baterías con capacidad de detección del punto de máxima potencia (MPPT) para paneles fotovoltaicos independientes de la red eléctrica, de hasta 3 KW de potencia. Este controlador tiene un rendimiento del 99%

El dispositivo aplica un avanzado algoritmo de seguimiento de carga para extraer la máxima potencia del panel fotovoltaico haciendo un barrido extremadamente rápido de toda la curva I-V para determinar la ubicación del pico de potencia. A continuación se detalla algunas de sus características técnicas en la siguiente tabla.

TABLA 15
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL REGULADOR SOLAR SELECCIONADO

Corriente máxima de baterías	45 A	
Entrada nominal máxima del panel	12 V	600 W
	24 V	1200 W
	48 V	2400 W
Rendimiento máximo	99%	
Voltaje nominal del sistema	12, 24, 36 y 48 Vcc	
Voltaje máximo del panel a circuito abierto	150 Vcc	
Autoconsumo máximo	2,7 W	
Temperatura ambiente	(-45,+45)°C	
Temperatura de almacenamiento	(-55,+100)°C	
Peso	2,4 Kg	

6.3. Baterías

Fundamentos

Una batería es un dispositivo que mediante una reacción química de electrólisis almacena energía y se la puede utilizar como electricidad, por lo general son pesadas y no son 100% eficientes en el almacenamiento y liberación de energía. Algunos términos que son importantes en las características de la batería son los siguientes.

- La densidad de energía es la relación entre la energía que contiene la batería y su peso (Wh/Kg), se busca un alto valor.

- La capacidad en amperio-hora (A-h) es la cantidad total de carga que puede almacenar la batería (1 amperio-hora = 3600 coulomb), esta capacidad está en función de la tasa de carga y descarga para todos los sistemas de baterías.

- La capacidad en vatios-hora (W-h) es la cantidad total de energía que la batería puede contener (1 W-h = 3600 J). La energía útil

de las baterías es sensible a las tasas de carga y descarga para todos los sistemas de baterías. La carga y descarga con altas corrientes reduce la capacidad de vatios-hora de la batería ya que un mayor porcentaje de la energía es convertida en calor.

- La eficiencia de carga es la fracción de capacidad (A-h) que regresará después de la carga, porque existe una pérdida debido al electrolito en la electrólisis, las baterías con electrolitos a base de agua como las de plomo-ácido, níquel-metal-hidruro (NMH), níquel-cadmio (NiCd), y la plata-zinc son menos eficientes que los electrolitos basados en polímeros como los iones de litio.

- La eficiencia energética es la diferencia que existe entre las curvas de voltaje cuando las baterías se cargan y descargan, como se muestra en la figura.

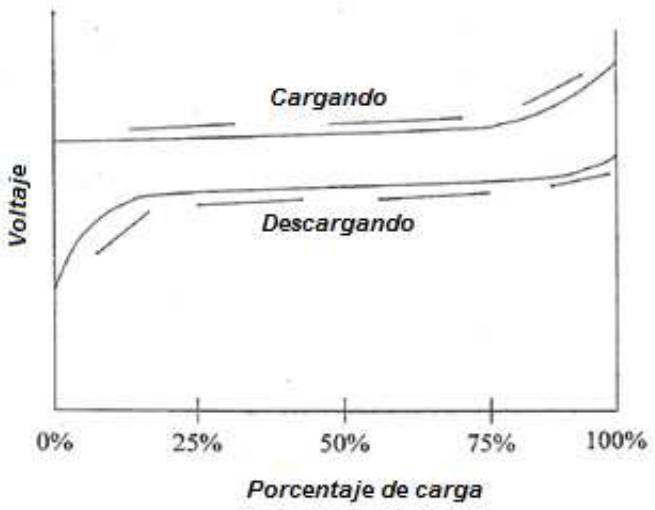


FIGURA 6.8 CICLO DE CARGA Y DESCARGA EN UNA BATERÍA

La opción ideal sería una batería que tenga una alta densidad de energía (para reducir el peso del vehículo) y una alta eficiencia energética de manera que sólo se pierda una pequeña fracción de la energía dentro de la batería, es más fácil saber la densidad de energía que la eficiencia energética, pero ambas son importantes al momento de seleccionarlas. Existe variedad en los tipos de batería, pero una de las más eficientes son las del tipo de iones de litio, es por esto que se seleccionó este tipo de batería, que tienen la más alta eficiencia energética, utilizan un electrolito orgánico haciendo que la corriente que pasa, transporte iones de litio entre los terminales positivos y negativos, la reacción química de estas baterías se ilustra en la figura siguiente.

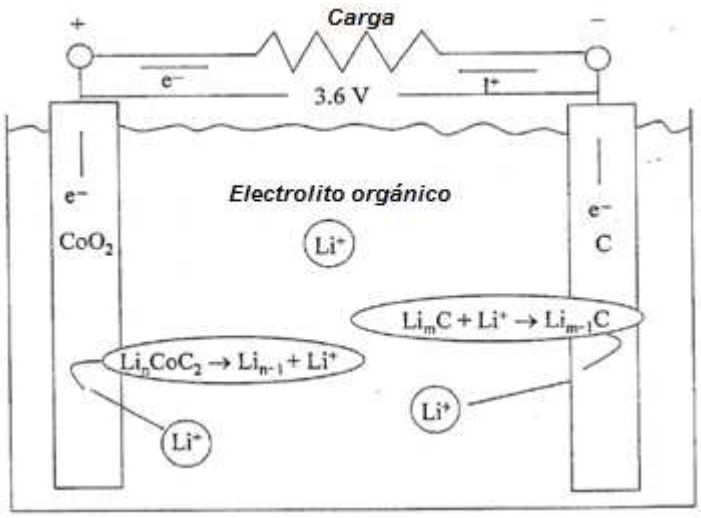


FIGURA 6.9 ESQUEMA INTERIOR DE UNA BATERÍA DE IONES LITIO

La energía se almacena mediante la intercalación de iones de litio en el electrolito orgánico, el electrodo negativo puede ser de carbono, mientras que el electrodo positivo está conformado por oxido de cobalto u otro elemento.

Dimensionamiento de la capacidad de las baterías.

Para poder calcular la capacidad energética del banco de baterías, en base a las reglas del concurso la cual estipulan que al menos el 50% de energía debe ser solar y el otro 50% se divide entre la energía de las baterías y la energía humana, entendiéndose como a la energía de

baterías a la energía almacenada en las mismas en el inicio de la competencia, haciendo el balance de energía se tiene.

$$Energía\ Baterias = Energía\ solar - Energía\ humana \quad 6.1$$

Teniendo en consideración 8390 Wh estimados de energía solar y suponiendo que los pilotos entregan 1050 Wh de energía (potencia promedio de 70 W durante 15 horas, en los tres días), se tiene que la energía máxima que se puede almacenar en la baterías es de 7340 Wh.

Por lo tanto la distribución ideal de la energía se ve reflejada en la siguiente tabla y gráfico.

TABLA 16
ENERGÍA TOTAL DE LAS DIFERENTES FUENTES

Tipo de Energía	(Wh)	Representación
Solar	8390	50%
Humana	1050	6%
Baterías	7340	44%
Total	16780	100%

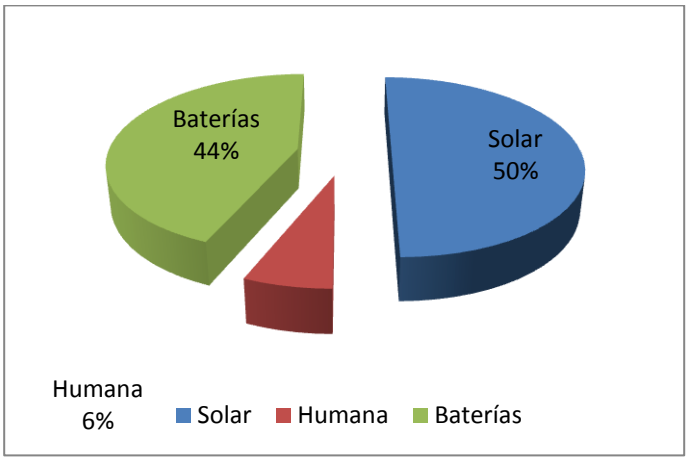


FIGURA 6.10.DISTRIBUCIÓN IDEAL DE LA ENERGÍA

El voltaje de operación del sistema se define por el voltaje de operación de las baterías, en el mercado existen baterías de acuerdo a su voltaje y a su capacidad, se conoce que el arreglo fotovoltaico tiene un voltaje de operación alrededor de 52 V, por lo tanto el voltaje de operación del sistema seria de 48 V. o también se podría operar con 36 V. Las opciones de baterías de iones de litio disponibles son las siguientes.

TABLA 17
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ALGUNAS BATERÍAS DE IONES DE LITIO

Voltaje (V)	Capacidad (Ah)	Energía (Wh)	Peso (Kg)	Densidad energética (Wh/Kg)
48	10	480	5,5	87,27
36	16	576	5,5	104,73
48	20	960	12	80
48	30	1440	18	80

Es así que para seleccionar la batería se escoge la que tenga la mayor densidad energética, la cual es la batería de 36 V y 16 Ah, con una densidad de 104.73 Wh/Kg, esta decisión va de la mano con el voltaje de operación del sistema que queda definido en 36 V, lo que quiere decir que el motor debe operar con este voltaje.

Las baterías son de marca “golden motor” de tipo LiFePO4, de tamaño compacto, carcasa de aluminio y peso ligero de alta fiabilidad, con un ciclo de vida extra largo de 5 veces más que las de plomo ácido y 2 veces mayor a las de NiMH, bajo riesgo de explosión, o de fuego en caso de colisión o cortocircuito, la máxima descarga de corriente es de 60A, y una máxima descarga continua de corriente de 30A, con ciclo de carga mayor a 800. Para satisfacer la distribución ideal de energía se tiene que alcanzar aproximadamente los 7340 Wh. en las baterías, lo que implica que se debe utilizar 12 baterías, lo implica un peso de 66 Kg.

Evidentemente no es conveniente tener tanto peso en las baterías, por lo que no se puede cumplir con el objetivo de la distribución ideal de las

fuentes de energía, por lo tanto se llega a un equilibrio entre el peso y la energía. Es por esto que se implementó 2 baterías de 576 Wh cada una.

6.4. Motor

Fundamentos

Los motores eléctricos funcionan debido a la fuerza electromagnética que se produce cuando pasa una corriente a través de un conductor dentro de un campo magnético o imán con los polos Norte (N) y Sur (S) respectivos, haciendo de esta manera que se desarrolle la fuerza electromagnética F cuya dirección está dada por la regla de la mano derecha. Esta fuerza produce el torque de giro del motor, que es proporcional a la corriente I y la intensidad del campo magnético B como se ilustra en la figura.

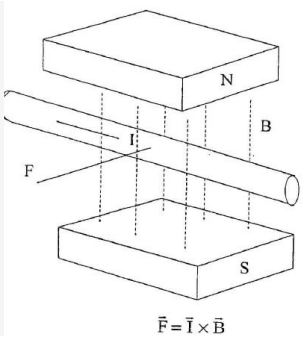


FIGURA 6.11 FUERZA MAGNÉTICA EN UN CONDUCTOR

En un motor de dos polos como el de la figura 6.12, los círculos con un punto en el centro, indican que un cable conduce corriente "hacia afuera de la página" y los círculos marcados con x, indican que un cable conduce corriente "hacia adentro de la página"; los cables de la izquierda producen una fuerza hacia arriba, y los cables de la derecha producen una fuerza hacia abajo, generando un torque en el círculo interior (rotor) causando la rotación en la dirección indicada; si se utiliza un imán permanente la cantidad de torque generado es controlado por el paso de la corriente en los cables.

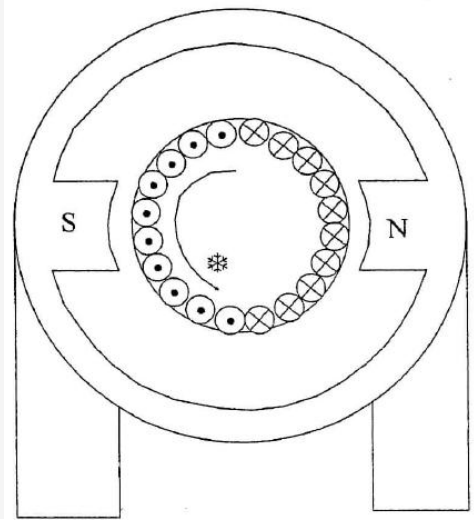


FIGURA 6.12 MOTOR ELÉCTRICO DE DOS POLOS

Una vez que el rotor gira 90 °, se alcanza un punto de cero torque, con la mitad de los cables generando un torque en una dirección, y la otra mitad en la otra dirección, en este punto, es necesario cambiar la dirección de las corrientes en el cable, es por esto que los motores comunes utilizan un arreglo de escobillas y conmutadores para cambiar la dirección de la corriente, mientras que los motores de alta eficiencia utilizan interruptores electrónicos (transistores).

Esta ilustración anterior se utilizó con fines de conocer cómo funciona el motor eléctrico DC, pero en la práctica, se utilizan motores con múltiples polos, donde la dirección de la corriente en los bobinados se debe cambiar en pequeños intervalos de rotación.

Características Eléctricas del Motor DC con Campo Magnético Permanente

Cuando un voltaje E es aplicado a los terminales del motor, una corriente I circula a través del embobinado con una resistencia $R_{m,}$ el motor genera una fuerza contra electromotriz (FEM). Esta fuerza contra

electromotriz es proporcional a la velocidad rotacional de operación del motor ω_m, por una constante K_b.

$$FEM = \omega_m K_b \qquad 6.2$$

Esta fuerza contra electromotriz es opuesta al voltaje de alimentación del motor. En la figura 6.13 se muestra el circuito equivalente de un motor DC con campo magnético permanente.

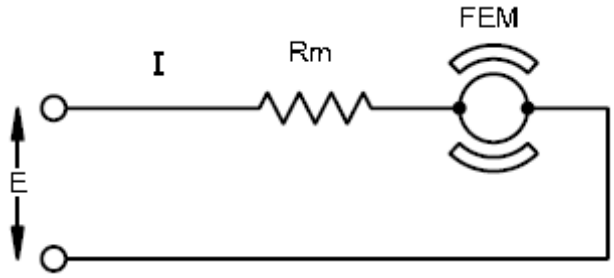


FIGURA 6.13 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DC CON CAMPO MAGNÉTICO PERMANENTE

La ecuación que describe el comportamiento de los parámetros de operación del motor DC está dada por:

$$E = V_{baterias} = IR_m + K_b \omega_m \qquad 6.3$$

Al inicio, la velocidad rotacional es cero y por ende no hay presencia de la FEM. Entonces la corriente que circula por los embobinados está dada por.

$$I = \frac{V_{baterias}}{R_m} \quad 6.4$$

Como la velocidad empieza a aumentar, la correspondiente FEM incremente conforme aumente la velocidad de rotación del motor, y la corriente que circula por los bobinados del motor es.

$$I = \frac{V_{baterias} - K_b \omega_m}{R_m} \quad 6.5$$

A cierta velocidad de rotación del motor la FEM llegara a ser igual al voltaje de la fuente $V_{baterias}$ en este punto de operación del motor DC el numerador en la ecuación 6.5 se hace cero, sin dejar tensión suficiente para mantener el flujo de corriente. La velocidad rotacional en este punto de operación es denominada como velocidad de rotación sin carga ω_{sc}

Un motor brushless se comporta como cualquier motor DC con conmutador y escobillas de campo magnético permanente en el cual la relación entre el torque y la velocidad de rotación es lineal. Todos estos parámetros de funcionamiento del motor DC son asumidos para un motor DC ideal. Por lo tanto para determinar la función de transferencia del sistema electromecánico en el vehículo se muestra el siguiente gráfico, determinado por los parámetros de operación del motor.

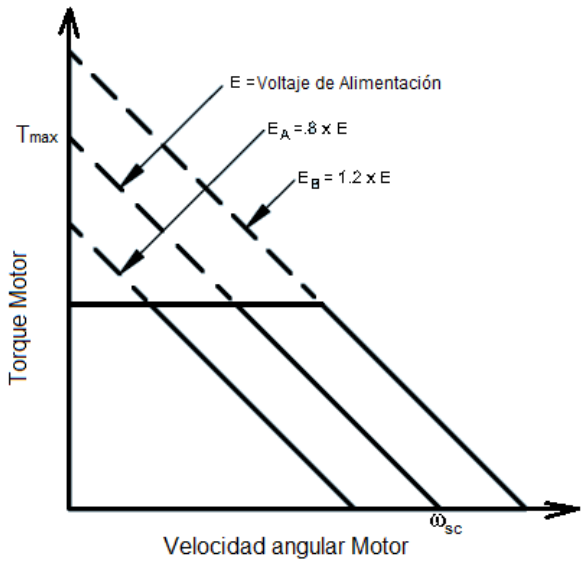


FIGURA 6.14 TORQUE VS VELOCIDAD ANGULAR DE UN MOTOR DC

Motor DC Brushless

Para generar la tracción en el vehículo solar se seleccionó un motor DC brushless (sin escobillas), los cuales son altamente eficientes, y realizan

la misma función de un motor DC normal, excepto que estos no tienen conmutador ni escobillas las cuales sufren desgaste generan chispas, y requieren cambio constantemente, en vez de esto el motor DC brushless posee switches de estado sólido para lograr la conmutación de la corriente en las bobinas del estator de forma electrónica.

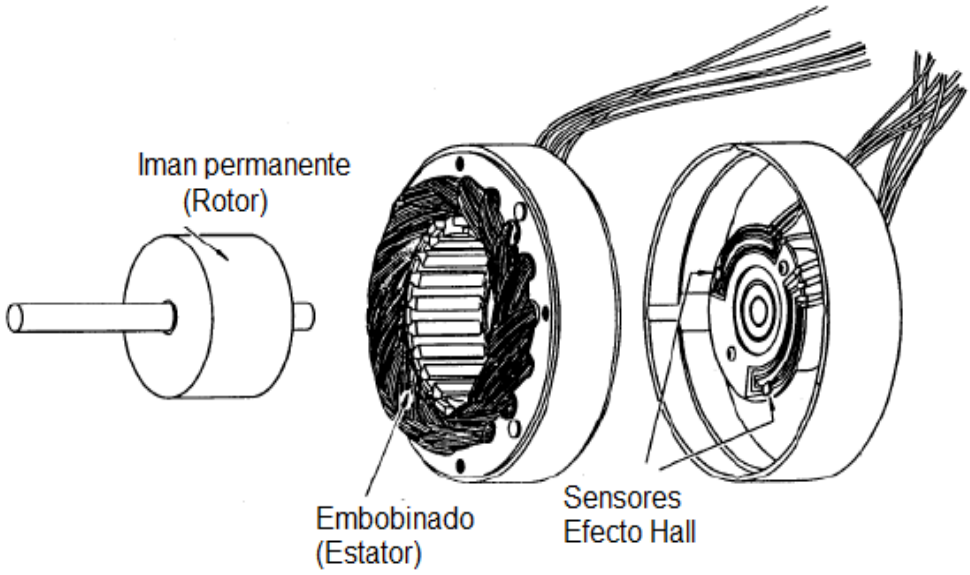


FIGURA 6.15 ESQUEMA DEL MOTOR BRUSHLESS DC

El motor brushless usado para propulsar el vehículo solar es parecido a un motor AC trifásico, pero con una inversión del funcionamiento de los componentes que lo conforman. En el motor brushless DC el rotor que

es la parte móvil está constituido por embobinado y la carcasa del mismo que a su vez forma la parte central de la rueda motriz.

El estator en este caso es el eje del motor, que genera el campo magnético permanente y que a su vez permite fijar el motor en la estructura del chasis, por medio de tuercas auto-aseguradas, permitiendo así el rápido desmontaje del conjunto rueda motor para realizar el cambio del conjunto.

Funcionamiento del Motor Brushless

La diferencia en el funcionamiento de este motor es la forma de detectar la posición del rotor relativo al estator, y de esa forma alimentar las bobinas con el voltaje de la fuente, en este caso con el voltaje de baterías de ion litio, para generar la corriente en las bobinas que producen un campo magnético con la polaridad correcta, y con ello producir la fuerza que genera el torque de rotación en el motor.

Para detectar la posición de los polos magnéticos en el rotor se usa sensores de efecto Hall, en los cuales al fluir una corriente a través de

ellos dentro de un campo magnético, (producido por polos magnéticos del rotor), se genera un voltaje debido al efecto Hall, este voltaje de salida es proporcional al producto de la intensidad del campo magnético y de la corriente que circula por el sensor, de esta forma se detecta la posición de los polos magnéticos en el rotor y realiza la conmutación electrónica de los embobinados en el rotor, que es la parte central de la ruda motriz, en la cual además se adaptó el piñón del sistema de transmisión mecánica .

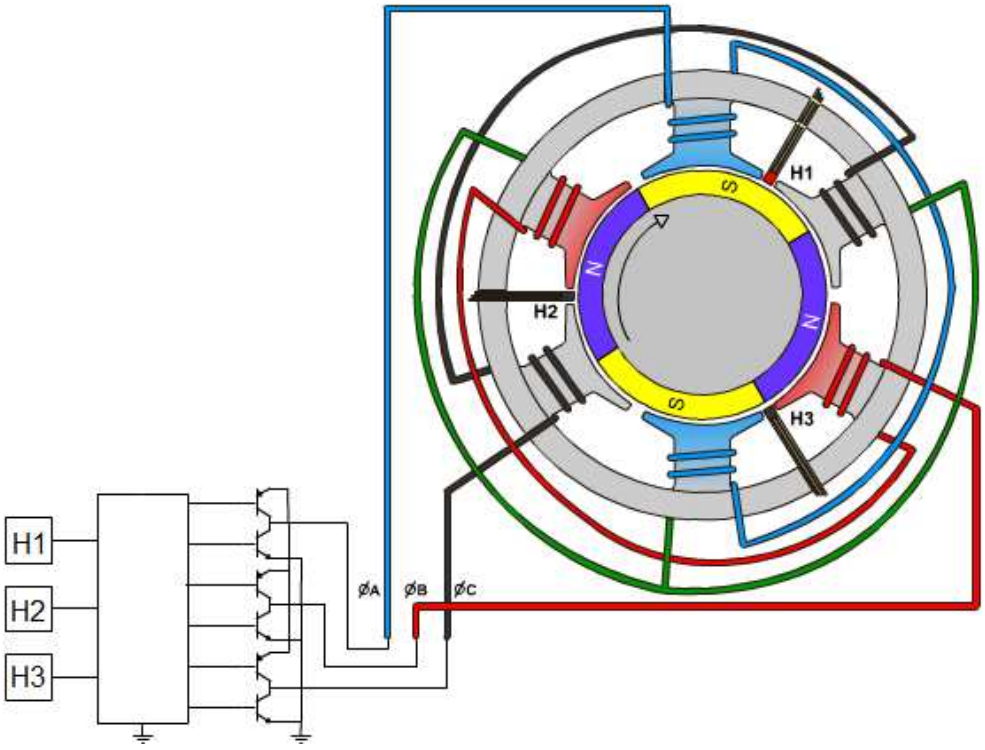


FIGURA 6.16 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR BRUSHLESS DC

Hoy en día la tecnología permite usar micros controladores en los reguladores de velocidad que hacen la función de controlar el motor de forma sencilla. El micro controlador detecta la posición del rotor midiendo el pulso de tensión electromotriz (FEM), con esta funcionalidad no solo el micro controlador sabe la posición, sino que predice el próximo pulso y además calcula la tensión necesaria según el pico de FEM que recibe del motor.

Curva Torque vs Velocidad del Motor Brushless

La figura 6.17 muestra la importancia del dimensionamiento del motor, ya que la eficiencia se mejora la eficiencia a medida que las revoluciones aumentan, es decir la eficiencia es buena a velocidades superiores al 50% del máximo de revoluciones por minuto, en cambio la eficiencia es pobre cuando el motor está produciendo sólo el 10% de su potencia nominal a cualquier velocidad angular.

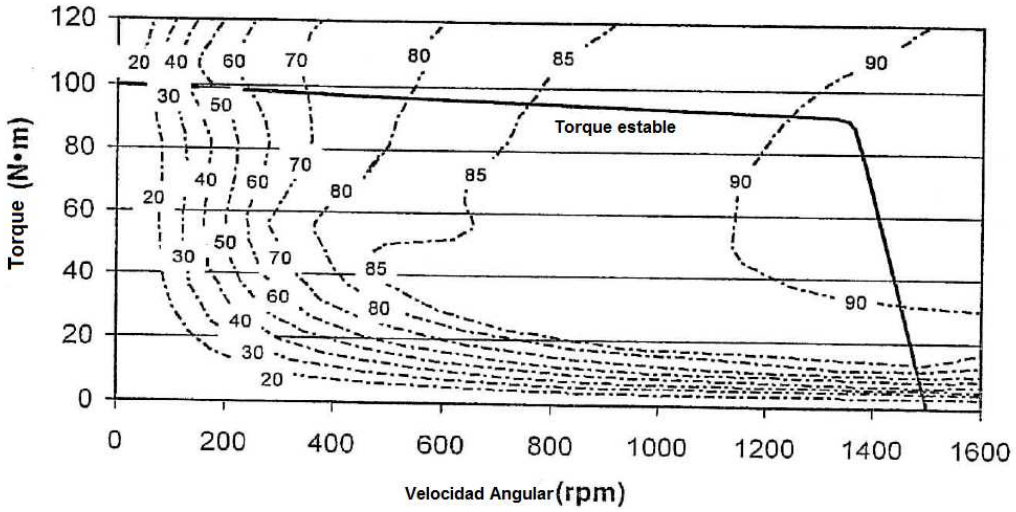


FIGURA 6.17 TORQUE VS VELOCIDAD ANGULAR DE UN MOTOR BRUSHLESS DC

Cuando se examina la figura 6.17, el diseño más eficiente sería un motor que utiliza el 75% de su potencia nominal cuando el vehículo esta en velocidad crucero, pero para las pruebas en carretera, se recomienda que el motor sea capaz de generar el torque necesario para empujar el vehículo hasta una pendiente del 10%.

6.5. Distribución de la Energía

La energía primaria que proviene del sol no se la puede convertir directamente en energía de movimiento en el vehículo. Por esto se debe tener un sistema de conversión de energía eficiente para aprovechar al máximo la energía proveniente del sol.

Esto conlleva al uso necesario de paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica. Esta energía debe ser almacenada directamente en las baterías para el posterior consumo en el motor eléctrico, convirtiéndola en movimiento (energía cinética) y variación de altura (energía potencial), otra parte se pierde literalmente, ya que esta únicamente se transforma en calor y no es aprovechada por el vehículo.

Las pérdidas están dadas por la fricción, la cual es inherente a los sistemas mecánicos, y debido a la resistencia de los conductores eléctricos que conducen la corriente eléctrica. Por esta razón se debe optimizar al máximo los sistemas que conforman el vehículo, para minimizar las pérdidas de energía en estos.

En la figura 6.18 se muestra una forma sistemática del proceso de conversión de las distintas formas de energía presentes en el vehículo, las cuales se muestran en forma jerárquica con su interacción con el vehículo.

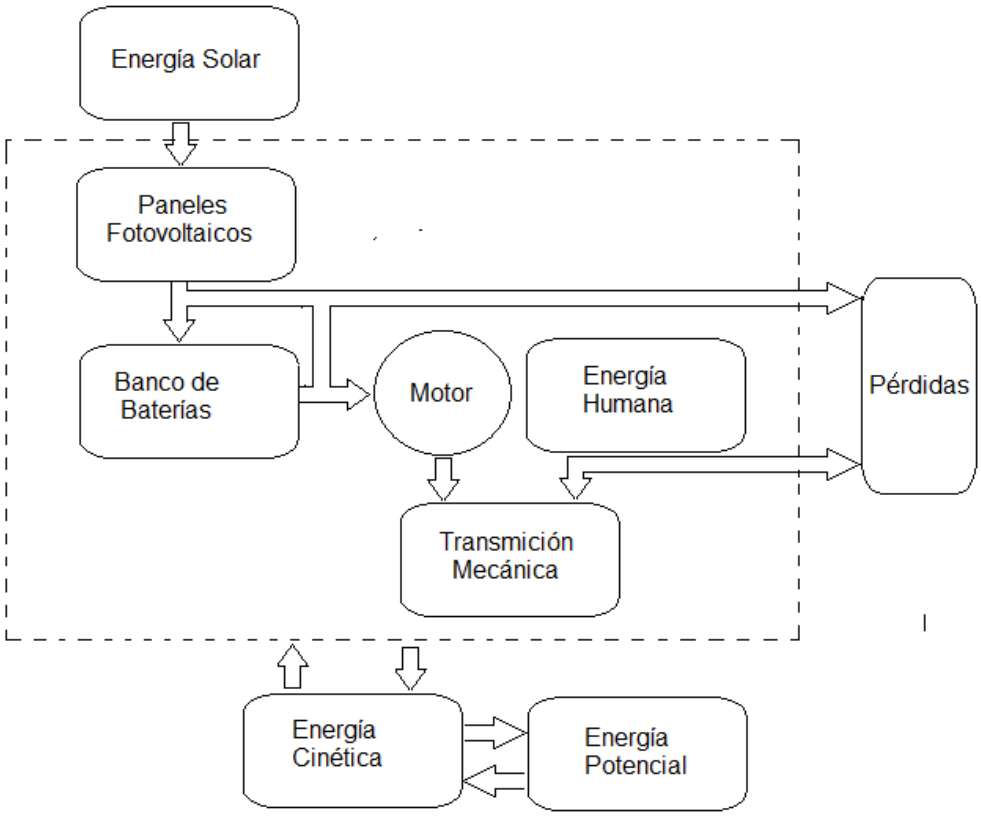


FIGURA 6.18 DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA EN EL VEHÍCULO

La energía humana proporcionada por el conductor del vehículo es una forma de energía que está en reserva, para compensar los déficit de energía que puedan haber en el vehículo cuando la demanda de energía requerida por el mismo sea alta, o debido a condiciones solares desfavorables por una alta nubosidad en el cielo, disminuyendo de este modo la cantidad de energía solar que llega al vehículo, por lo que el tiempo de carga de las baterías se incrementa, lo cual compromete la autonomía del vehículo. La energía humana puede ser aplicada de forma simultánea con la energía proveniente de las baterías o de manera totalmente independiente.

Configuración del Sistema Eléctrico de Potencia

En la siguiente figura se muestra la forma de conexión eléctrica de los componentes principales del sistema de potencia del vehículo solar, el cual está configurado para un voltaje de operación de 36 voltios.

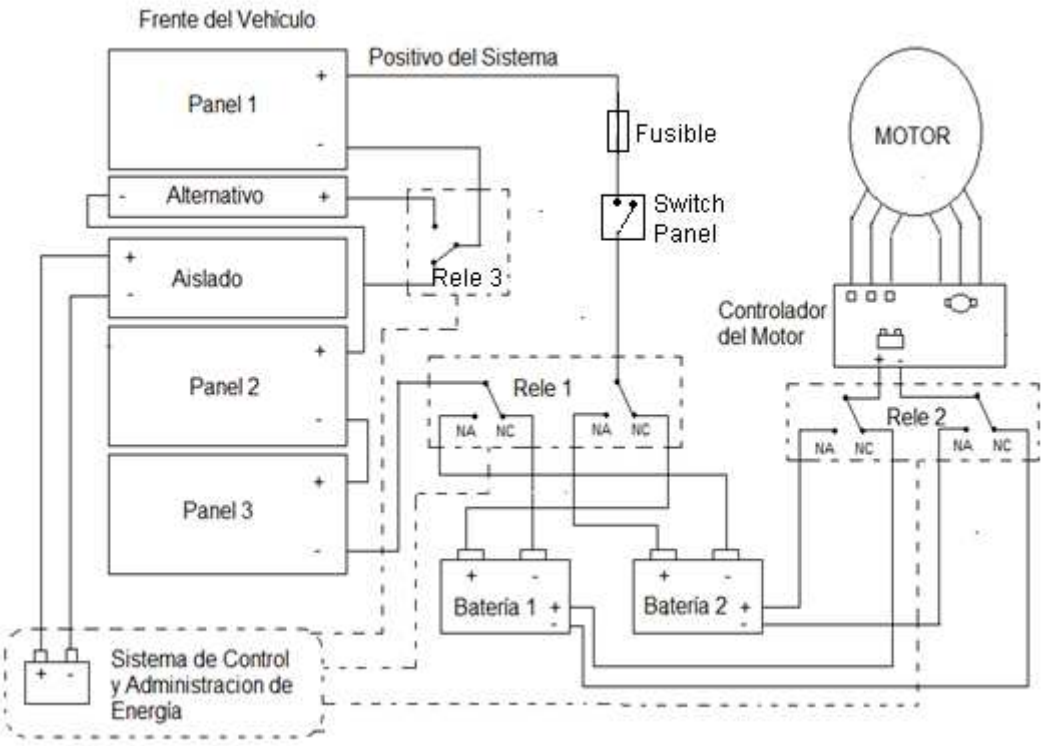


FIGURA 6.19 DIAGRAMA ELÉCTRICO GENERAL

6.6. Sistema de Control

La configuración del sistema de potencia eléctrico en el vehículo consta de tres elementos principales que son los paneles fotovoltaicos que corresponde a la fuente primaria de energía eléctrica, el segundo es el banco de baterías que almacenan la energía eléctrica proveniente de los paneles fotovoltaicos, que además permiten estabilizar el voltaje de operación del sistema eléctrico en el vehículo, y el tercer elemento es el

motor eléctrico. La interrelación de estos componentes del vehículo, está gobernada por el sistema de control, el cual permite el correcto funcionamiento del mismo. Las funciones principales del sistema de control del vehículo solar es controlar las tareas de funcionamiento del vehículo, como también la de administrar correctamente la energía del mismo.

Las tareas de funcionamiento del vehículo tales como el control de velocidad del motor, desconectar la alimentación eléctrica del motor al aplicar los frenos del vehículo, mantener la velocidad constante, cambiar el sentido de giro del motor eléctrico para accionar la reversa del vehículo son realizadas por el controlador del vehículo.

Para administrar la energía eléctrica proveniente de los paneles fotovoltaicos se requirió la construcción de un banco de relés magneto mecánicos los cuales mediante control eléctrico, son accionados por el conductor, y permiten realizar la conmutación de carga y descarga de las baterías.

En la siguiente figura 6.20 se muestra claramente los sistemas que intervienen en el funcionamiento del vehículo solar gobernados por el controlador del vehículo y la unidad de administración de energía.

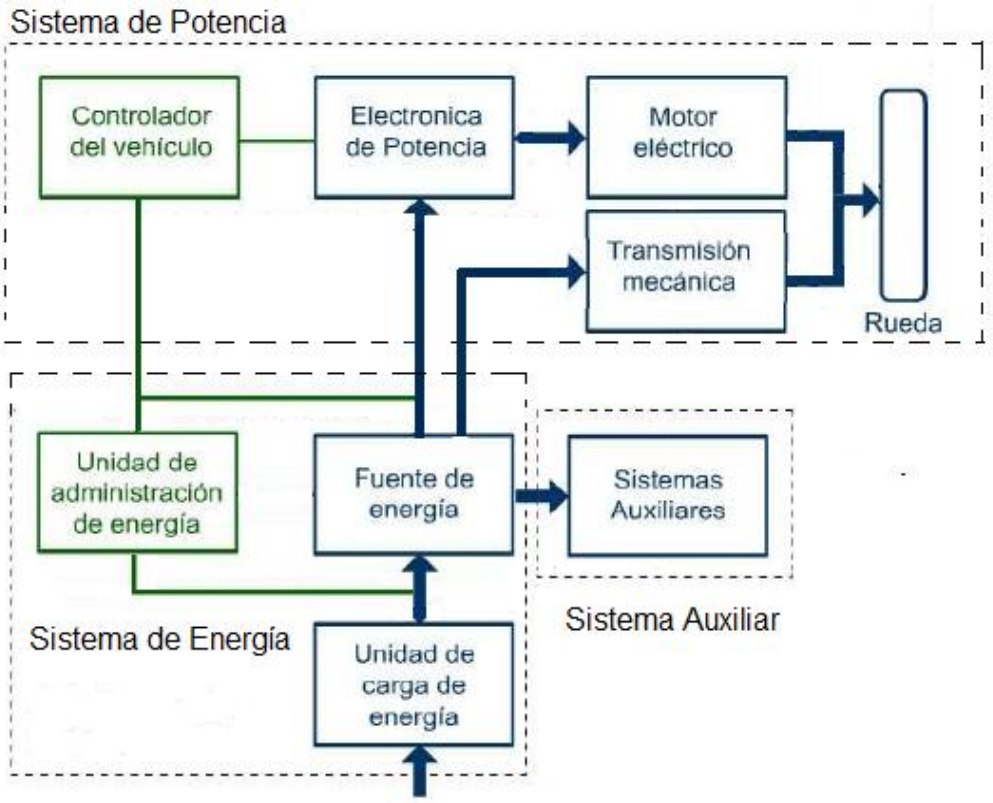


FIGURA 6.20 ESQUEMA DE CONTROL Y ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA

Los sistemas auxiliares en vehículo solar ayudan al correcto funcionamiento y desempeño del vehículo, como por ejemplo, el sistema de luces, conformado por luces de guía, luz del retro, luz de freno. Este sistema es controlado por in PIC (Controlador de Interfaz Periférico) que

realiza las tareas de control de del sistema de luces. Este sistema es alimentado directamente del banco de baterías a través de un convertidor DC/DC, que transforma el voltaje de operación del sistema de luces.

El controlador del vehículo actúa directamente en el sistema de potencia del vehículo controlando la alimentación del motor para regular la velocidad del mismo, a través de la electrónica de potencia interna del mismo, este recibe las señales de entrada dadas por el conductor a través de la manija de aceleración del vehículo, palanca de frenos, pulsadores en el panel de control del vehículo. En la siguiente figura siguiente se indica el controlador del vehículo y el esquema del acelerador.

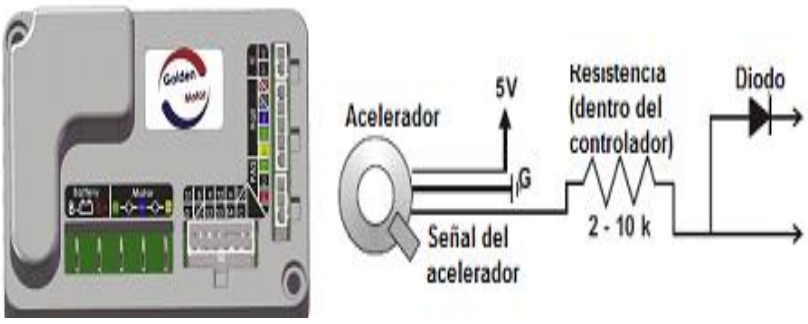


FIGURA 6.21 CONTROLADOR DEL Y ESQUEMA DEL ACELERADOR DEL VEHÍCULO.

CAPÍTULO 7

7. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL VEHÍCULO SOLAR

El primer paso para iniciar la construcción es definir detalladamente el diseño como se encuentran en los planos, paralelamente se debe tener listo los materiales, herramientas y personal que ayudará a construir el vehículo. Los procesos de construcción que fueron:

Cortes y Perforaciones

Para cortar los distintos perfiles metálicos de aluminio, acero, y polímeros como el acrílico, se usó la sierra manual, la sierra de disco y la amoladora, también se debe tener a la mano una caladora y un serrucho que permita cortar la madera de balsa.

También es necesario un taladro con una variedad en el diámetro de brocas que este en la capacidad de perforar el acero.

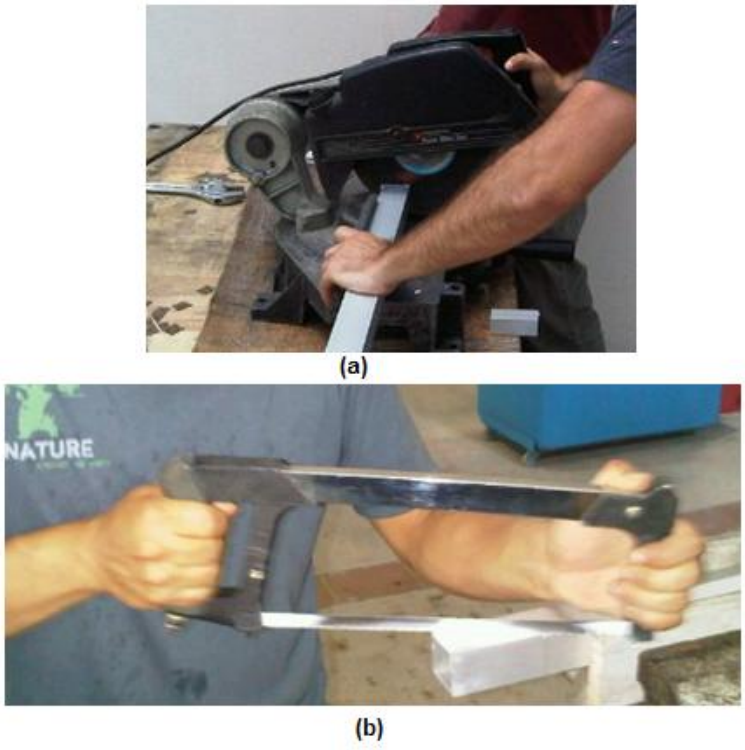


FIGURA 7.1 PROCESO DE CORTE DEL MATERIAL (A) SIERRA DE DISCO (B) SIERRA DE MANO.

En el CAMPRO, mediante la cortadora de hilo, se realizaron los cortes y perforaciones de la placa de aluminio 1100 de 4 mm de espesor, según el plano 1.

FIGURA 7.2 MÁQUINA CORTADORA DE HILO

Preparación para la Soldadura

El aluminio que se encuentra a nuestra disposición es el 6061 T6 y el 1100 el mismo que viene recubierto con una capa anodizada, esta capa dificulta la soldadura, es por esto que se debe limpiar esta capa en las superficies próximas a soldar, se lo puede realizar usando una lima, el esmeril o la amoladora de mano, finalmente se cubre la zona limpiada con acetona para facilitar el proceso de soldadura. Se tiene que tener cuidado en no exagerar este proceso ya que podría ocasionar una disminución significativa en el grosor del material, debilitando de esta manera las uniones soldadas.

En cambio en el caso del acero 1018 y A-36 no es necesario preparar la zona de soldar a menos que este evidentemente oxidado, en ese caso se puede utilizar además de las herramientas mencionadas anteriormente un cepillo con cerdas de acero.

FIGURA 7.3 PREPARACIÓN DEL MATERIAL (A) LIMPIEZA DE LOS PERFILES DE LADOS PLANOS CON LA AMOLADORA DE MANO (B) LIMPIEZA CON LA LIMA DE LOS CORTES EN LOS PERFILES (C) LIMPIEZA DE LOS PERFILES DE SECCIÓN CIRCULAR CON LA AMOLADORA

Soldadura

En la soldadura del aluminio y del acero se utilizó el proceso TIG, por sus siglas en ingles (Tugsten Inert Gas) que es un proceso de soldadura de arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde se utiliza metal de aporte. Se utiliza gas (argón) de protección cuyo objetivo es desplazar el aire, que elimina la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y nitrógeno presente en la atmósfera. La característica más importante que ofrece este proceso es entregar alta calidad de soldadura en todos los metales, incluyendo aquellos difíciles de soldar como es el aluminio, como también para soldar metales de espesores delgados como los perfiles seleccionados.

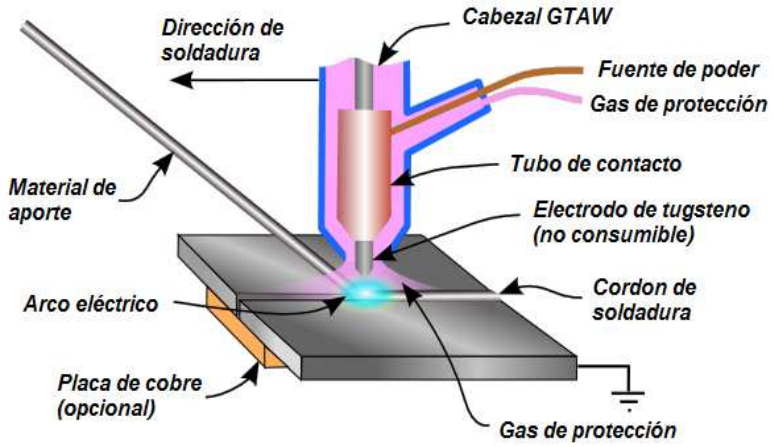


FIGURA 7.4 ESQUEMA DEL PROCESO DE SOLDADURA TIG

En el laboratorio de soldadura de la FIMCP se cuenta con una máquina de soldar TIG, de alta frecuencia que viene con su respectiva, fuente de poder torcha, suministro de gas de protección con regulador de presión y medidor de flujo y un switch tipo pedalera.

Ambos tipos de corriente alterna y directa pueden ser usados dependiendo del tipo material que se desee soldar, para soldar el acero, usado en algunas partes del vehículo se prefiere corriente directa con el electrodo conectado al terminal negativo de la fuente de poder, y para la soldadura del aluminio se usa corriente alterna.

En el armado de la estructura primero se hace puntos para unir los elementos de la estructura, luego medir y enderezar según sea necesario, con la ayuda de una escuadra con referencia en un punto determinado.

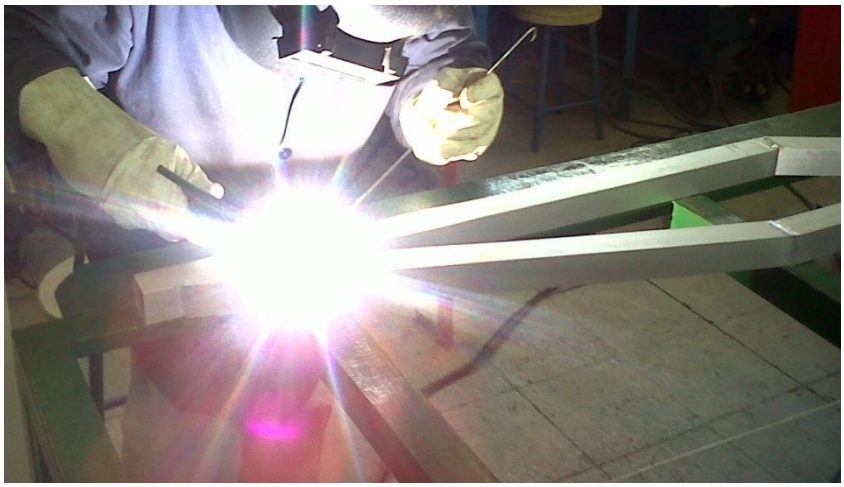


FIGURA 7.5 SOLDADURA TIG DEL ALUMINIO

Mecanización

Algunos componentes no existían en el mercado, es así que se decidió maquinar a medida en el torno CNC componentes que conforma el vehículo, como los bocines, roscas, entre otras piezas fundamentales para el vehículo, algunas de estas se las fabricó en el CAMPRO y otras en talleres independientes.

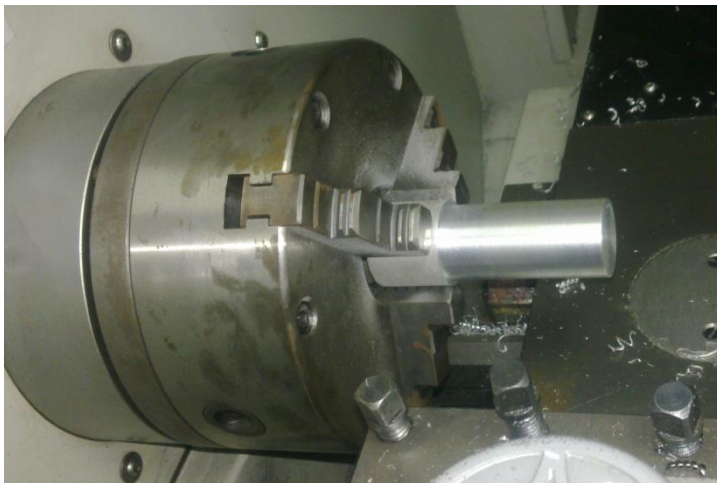


FIGURA 7.6 MECANIZACIÓN EN EL TORNO CNC

7.1. Componentes Mecánicos y Eléctricos

Los componentes mecánicos y eléctricos con los que cuenta el vehículo solar son los siguientes.

Chasis

Basándonos en el plano 3, el chasis está formado por perfiles y placas de aluminio plenamente soldadas, la lista de los perfiles se detalla a continuación.

TABLA 18
PERFILES DE ALUMINIO USADOS EN EL CHASIS

Cantidad	Perfil	Descripción (mm)	Longitud (mm)
2	Angulo	31,75 x 1,9	170
2	Angulo	31,75 x 1,9	32
1	Angulo	31,75 x 1,9	130
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	678
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	579
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	341
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	953
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	142
2	Cuadrado	31,75 x 1,8	71
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	125
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	116
1	Cuadrado	31,75 x 1,8	573
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	193
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	162
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	635
4	Cuadrado	25,4 x 1,8	80
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	836
4	Cuadrado	25,4 x 1,8	198
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	320
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	604
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	200
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	275
4	Cuadrado	25,4 x 1,8	558
1	Cuadrado	25,4 x 1,8	155
2	Cuadrado	25,4 x 1,8	575
2	Angulo	25,4 x 1,6	272
2	Angulo	25,4 x 1,6	193
2	Angulo	25,4 x 1,6	131
4	Angulo	25,4 x 1,6	397

Los procesos usados en la construcción del chasis del vehículo solar fueron, corte del material, preparar el material para la soldadura y finalmente soldar el material, como se muestra en la figura 7.7.

Es preferible realizar los cortes del material con una maquina de corte, para obtener un corte uniforme, y con el ángulo correcto. Para preparar el material se puede usar la amoladora con disco de corte o con un cepillo con cerdas de acero.

FIGURA 7.7 ARMADO DE LOS PERFILES DE ALUMINIO DEL CHASIS

A esta estructura se le soldaron también las placas de aluminio que trabajaron como ménsulas, las mismas que se soldaron paralelamente con los perfiles y que se detallan en el plano 2.

El chasis tiene ménsulas delanteras superiores e inferiores, derecha e izquierda respectivamente y la ménsula posterior.

También se soldaron las cuatro guías para la cadena las mismas que se adquirieron, y se usan normalmente en bicicletas, se soldó también el tubo de soporte para el desviador delantero.

Es importante señalar que la soldadura de las placas previamente cortadas hacia la estructura debe realizarse de una forma precisa, ya que tiene que coincidir para los componentes del sistema de transmisión y dirección.

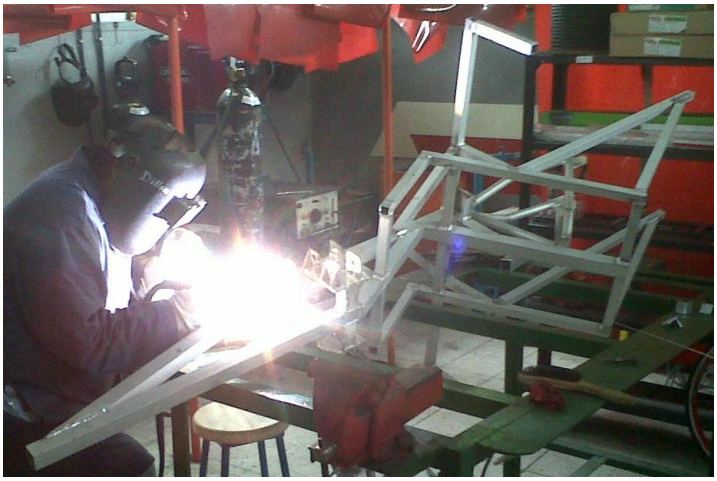


FIGURA 7.8 SOLDADURA DEL CHASIS

Para concluir el chasis se le acopló el asiento atornillado a los perfiles, también se perforó los perfiles más fuertes para instalar el cinturón de seguridad de tres puntos.

Componentes del Sistema de Suspensión

En este sistema se tiene los dos brazos superiores, dos brazos inferiores, dos brazos verticales y un balancín, están fabricados con tubos de aluminio y en el caso del balancín y brazo vertical también están constituidos con partes de las piezas cortadas de la placa de aluminio. Al igual que en el chasis se tuvo que cortar, preparar y soldar el material.

Para realizar la unión entre dos tuberías con cierto ángulo se utilizó el software “Digital Pipe Fitter” en el mismo que introduciendo ciertos parámetros como el diámetro externo, espesor y ángulo de unión de las tuberías, muestra una imagen que puede ser impresa y recortada a escala 1:1, para usarse como plantilla en el tubo y realizar el corte, de esta manera las piezas se acoplan en la posición correcta. En la figura 7.9 se muestra el desarrollo de los cortes de los elementos

tubulares, para armar los brazos de la suspensión delantera del vehículo.

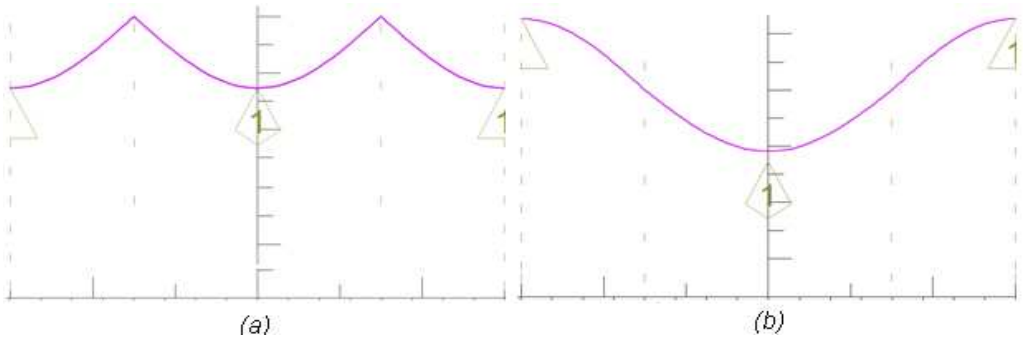


FIGURA 7.9 DESARROLLO CORTES DE ELEMENTOS DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA (A) UNIÓN TIPO T (B) UNIÓN TIPO L.

El **brazo superior** e **inferior** se detalla en el plano 4 adjuntado el apéndice. Para la construcción del **brazo vertical** se hace referencia all plano 5, este elemento consta con un perfil circular de aluminio de 32 mm de diámetro exterior, 2 mm de espesor y 240 mm de largo, el mismo que se lo maquinó en sus extremos para reducir su diámetro exterior a 30 mm, de esta manera se pueden adaptar las pistas, además cuenta con las placas de aluminio D1 y D2 y a éstas las respectivas ménsulas que se detallan en los planos 1 y 2 de los apéndices.

El **balancín** está detallado en el plano 6, el cual está construido con de perfiles circulares de 25.4 mm de diámetro exterior, y con las placas de aluminio.

En la siguiente figura se indican las plantillas para realizar los cortes de unión de los elementos que constituyen el balancín de la suspensión posterior del vehículo.

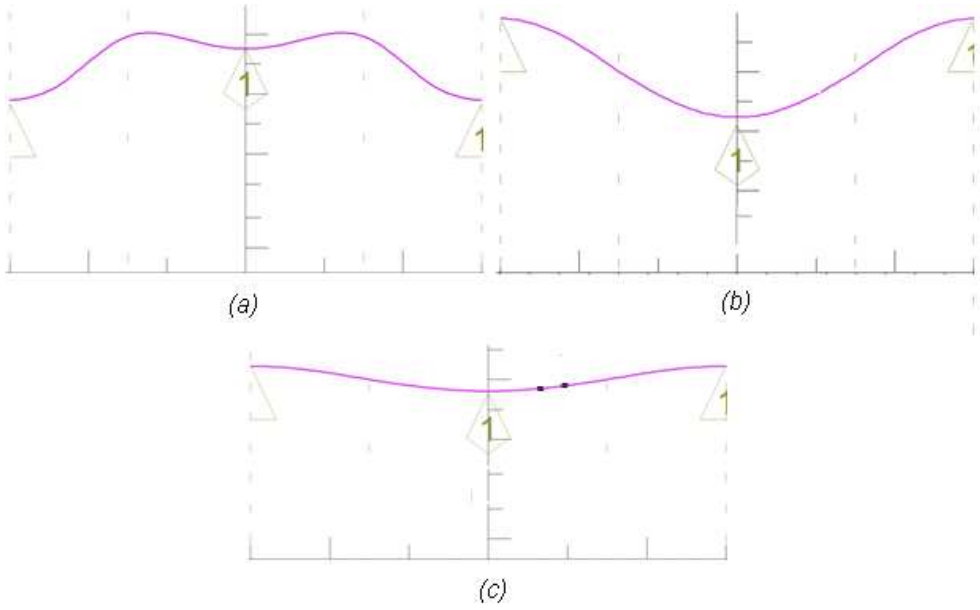


FIGURA 7.10 PLANTILLAS PARA CORTE DE ELEMENTOS DEL BALANCÍN (A) UNIÓN A 70° (B) UNIÓN EN 110^{O} (C) UNION A160^{O}

Por otra parte, los tubos que conforman los extremos de los brazos de suspensión delantera, el tubo que conforma la caja del pivote

central, y del tubo guía de la dirección del vehículo, se refrentó en sus extremos en el torno con sus respectivas medidas y ajuste de interferencia para el acople de los bocines y las pistas de la dirección.

Componentes del Sistema de Dirección

En este sistema se tiene los tubos de dirección derecho e izquierdo, la barra de enlace de dirección, las rótulas, los codos de sujeción del manubrio y los manubrios.

Los **ejes de dirección de las ruedas** están fabricados en tubo de acero, esta tubería es roscada en su extremo, para asegura el ensamble, y tiene una pista para rodamiento de bolas soldado en la parte inferior.

El eje de rotación de las ruedas está fabricado en acero 1018, este eje fue maquinado para darle la forma necesaria que permite el ensamble con la rueda, también esta roscado en el extremo, para

asegurar la rueda al vehículo. El detalle de este componente se muestra en el plano 7.

Los dos **codos de sujeción** son elementos de acero adquiridos que se usan originalmente en las bicicletas de montaña, es la pieza que acopla al cuadro o estructura al timón de la misma, en este caso se acoplaron mediante una cuña a los tubos de la dirección, dejando en su otros extremos la posibilidad de acoplar los **manubrios.**

Las dos **rótulas** son elementos comunes en los sistemas de dirección como los que existen en vehículos de karting o en los cuadriciclos, se fijan a cada tubo de dirección, en donde se enrosca la **barra de enlace de dirección**, la misma que fue maquinada y es maciza de acero 1018 que en sus extremos tienen roscas a diferentes giros para regular la convergencia de las ruedas delanteras, el manubrio y la barra de enlace también se muestran en el plano 7.

Ruedas

Se seleccionó tres ruedas de bicicleta, porque son relativamente fáciles de conseguir y armar, éstas cumplieron con las exigencias extremas de la competencia, según el diseño propuesto se tiene dos tipos de llantas, las dos delanteras y una trasera, estos tres componentes constan de los siguientes elementos.

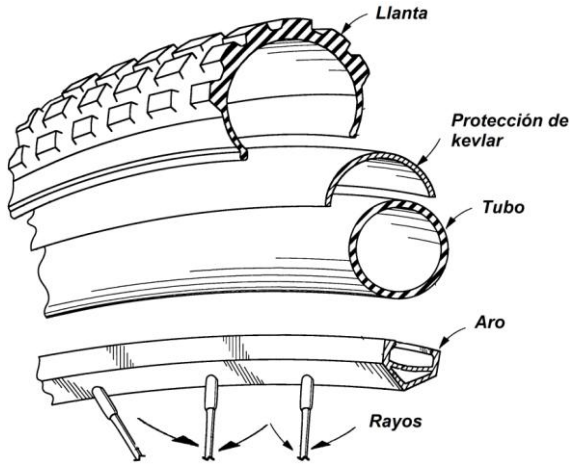


FIGURA* 7.11 *ESQUEMA DEL ARMADO DE UNA RUEDA

Las dos ruedas delanteras, que son las encargadas de dar la dirección al vehículo, son iguales y cada una está conformada por la manzana “SRAM X9” diseñada para bicicletas de categoría “downhill”, este tipo de manzana soporta altos esfuerzos, con 165 g de peso, el eje de acero es de 15 mm de diámetro y 108 mm de largo, se le

puede adaptar el disco de freno y tiene rodamientos sellados. Luego se tejen 32 rayos reforzados a la manzana y aro “SUMRIMS CR18” de aluminio de 20 pulgadas, la protección de kevlar protege al tubo de pinchaduras, finalmente se coloca la llanta “ITS MK2” de 20 x 1 3/8, que tiene un labrado que es apto para asfalto, es de gran resistencia y tiene bajo peso.

***FIGURA* 7.12 COMPONENTES DE LA RUEDA DELANTERA (A) MANZANA (B) ARO (C) LLANTA (D) PROTECCIÓN DE KEVLAR**

FIGURA 7.13 RUEDA DELANTERA ARMADA

En cambio en la rueda trasera, que es la encargada de dar la tracción al vehículo está compuesta por el motor eléctrico que hace también el trabajo de la manzana, donde se tejen 32 rayos reforzados al aro de aluminio 700 C, sobre el tubo se coloca la protección de kevlar y la llanta “Maxxis Detonator” 700 C x 23, que tiene un labrado que es apto para asfalto, pues se usan originalmente en bicicletas de ruta o de carrera.

FIGURA 7.14 RUEDA POSTERIOR (A) LLANTA (B) RUEDA ARMADA

La unión de las partes de las ruedas se las realizó en un taller independiente especializado en bicicletas, pues también se necesitó alinear y centrar estos componentes para que la rueda funcione sin problemas.

Componentes del Sistema de Transmisión de la Energía Humana

Para el aprovechamiento de la energía humana, se utilizó los elementos que se encuentran en una bicicleta común como:

- Sistema de pedaleo
- Eje central
- Caja del eje central
- Plato palanca
- Brazo de pedal
- Pedales
- Casete
- Cadena
- Descarrilador
- Tensor
- Palanca de cambios

El sistema de pedaleo está formado por un eje central de marca SHIMANO, de rodamientos sellados, la caja del eje central es una especie de cilindro fabricada en acero 1018 con rosca interior en ambos lados con rosca a diferente sentido de giro.

El plato palanca y el brazo de pedal, de marca SHIMANO se ensambla en cada lado del eje central y permiten convertir el movimiento alternativo de los pies en un movimiento circular. Para transmitirlo posteriormente a la rueda motriz a través del sistema de transmisión y cambio de velocidades. En la figura 7.15 se muestra los principales componentes del sistema de transmisión mecánica

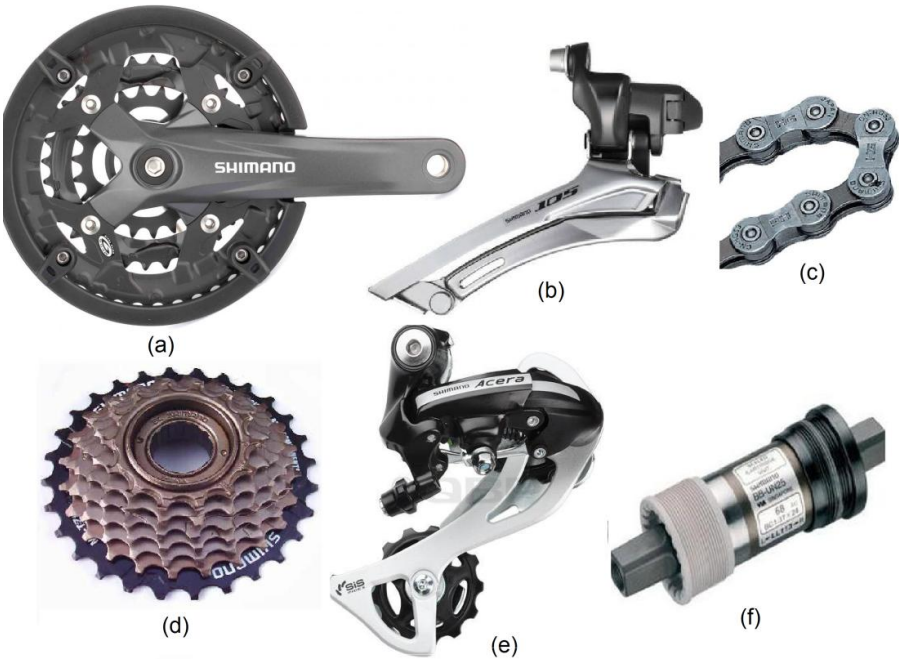


FIGURA 7.15 COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MECÁNICA. (A) PATO PALANCA (B) DESCARRILADOR DE CADENA (C) CADENA (D) CASETE (E) TENSOR DE CADENA (F) EJE CENTRAL.

Componentes del Sistema de Frenos

- Discos
- Caliper
- Mordazas tipo U
- Palanca de frenos

Entre los principales componentes que conforman el sistema de frenos se tiene los discos ensamblados en las manzanas de las ruedas delanteras por medio de tornillos de sujeción, el caliper que está fijado firmemente por pernos en la base del eje de la dirección de cada rueda delantera y actúa directamente en los discos, las mordazas tipo U fijadas en el balancín de la suspensión posterior por medio de pernos, actúan directamente en la rueda posterior para frenarla. Además también están las palancas de freno ubicadas en el manubrio de vehículo que permiten accionar los calipers y las mordazas mecánicamente por medio de un cable de acero. En la figura 7.16 se indican los principales componentes del sistema de frenos del vehículo.

FIGURA 7.16 COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS (A) DISCOS (B) CALIPER (C) PALANCA DE FRENO (D) MORDAZA TIPO U

Carrocería

La carrocería diseñada y construida consta básicamente de perfiles de aluminio, madera de balsa, acrílico tranparente, como se muestran en los planos de construcción adjuntos en los anexos.

Las partes que constituyen la carrocería del vehículo son:

- El marco estructural
- La parte delantera
- La parte posterior
- Sistema de aletas tipo persianas.

El marco central constituye la base de la carrocería fabricado con perfil de aluminio tipo L, permite el fácil ensamble con el chasis del vehículo por medio de pernos de acero, y además soporta la parte delantera formada con perfiles cuadrados de aluminio de la carrocería, la cual se desliza hacia adelante para permitir el ingreso del conductor, los laterales están cubiertos por un sistema de aletas tipo persianas. La parte posterior está formada con tubos cuadrados de aluminio y fijada al marco por medio de pernos, los laterales están cubiertos con planchas de madera de balsa reforzadas con fibra de vidrio y resina, recubiertas con papel auto adhesivo “contact”.

Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos están constituidos por tableros de balsa reforzada, celdas fotovoltaicas, acrílico y perfiles de aluminio.

Tableros de Balsa Reforzada

Esta madera tiene una alta relación resistencia vs peso, y más aún si viene reforzada con fibra de vidrio y resina epóxica, su sección de 10 mm de espesor tiene la resistencia necesaria para soportar a las celdas y al acrílico, colocándolos en las correctas zonas de apoyo, se necesitaron 3 planchas de 1174 x 660 mm y 1 plancha de 1174 x 521 mm.

FIGURA 7.17 MADERA BALSA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y RESINA

Celdas Fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas elegidas tienen dos caras con tres “bus wire” o caminos conductores de energía por lado, la cara de la celda de color azul (lado frontal) es el terminal negativo mientras que la otra cara (lado posterior) es el terminal positivo.

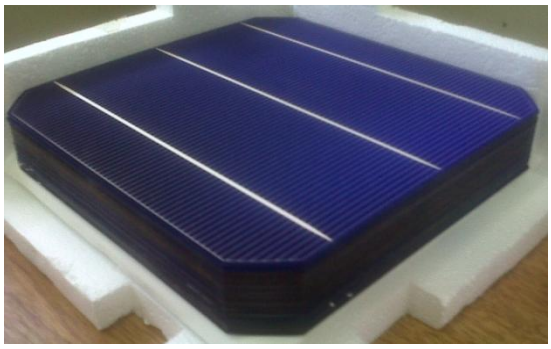


FIGURA 7.18 CELDAS FOTOVOLTAICAS

Acrílico

Este material ofrece una alternativa para sustituir al vidrio templado el cual es muy pesado, tiene una transmisibilidad de la luz del 97%, de 3 mm de espesor es lo suficientemente resistente para proteger a las celdas fotovoltaicas, se necesitaron 3 planchas de 1174 x 660 mm y 1 plancha de 1174 x 521 mm.

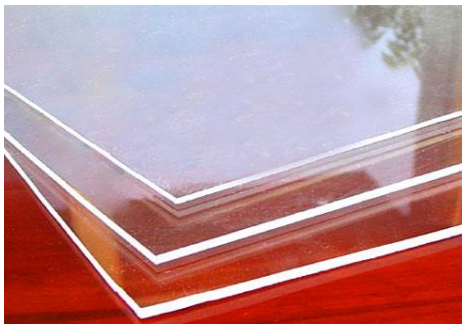


FIGURA 7.19 LÁMINAS DE ACRÍLICO

Perfiles de Aluminio

Los perfiles de aluminio 6061 que se utilizaron para enmarcar a los paneles fueron ángulos de lados desiguales y también de lados iguales de, en la siguiente tabla se detalla la cantidad de material que se utilizó.

TABLA 19
PERFILES DE ALUMINIO DE LOS PANELES

Cantidad	Descripción (mm)	Longitud (mm)
4	25,4 x 12,7 x 1,02	662
1	25,4 x 12,7 x 1,02	2093
5	12,7 x 1,02	1176

Se tiene que cortar la madera con la caladora y el acrílico con la amoladora de mano a la medida establecida en los planos, también cortamos los perfiles de aluminio con la sierra u otro instrumento. Para soldar las celdas se necesitaron los siguientes elementos.

FIGURA 7.20 EQUIPO Y MATERIALES USADOS PARA SOLDAR LAS CELDAS SOLARES

Siempre que se vaya a soldar es necesario aplicar el fundente, que es un agente químico que facilita la soldadura, tiene forma de marcador aplicándose directamente a los “bus wires” o a los cables para soldar, por otra parte, constantemente con la punta de la pistola caliente fundimos un poco del cable del soldador de aleación (Sn-Ag-Cu), este proceso también facilita la soldadura.

Se recortó el cable de 1.52 mm de ancho en 270 segmentos de 33 cm de largo y 90 segmentos de 10 cm de largo, también se recortó el cable de 5 mm de ancho en 6 segmentos de 65 cm de largo y 2 segmentos de 40 cm de largo.

Luego se debe soldar, con la debida preparación anteriormente mencionada, los 270 segmentos de cable más angosto, haciendo coincidir uno de sus extremos con el extremo del “bus wire” hasta el final del mismo, casi la mitad del cable queda suelto, esta soldadura se la realizó a 90 celdas y se muestra en la siguiente fotografía.

FIGURA 7.21 PROCESO DE SOLDADO DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS.

Después se sueldan los otros 90 segmentos de cable más angosto a las 15 celdas restantes y a 15 celdas soldadas anteriormente, de tal manera que el cable quedare libre un par de centímetros hacia afuera, de las 15 celdas sin ser soldadas anteriormente a 8 se le soldó por su lado negativo y 7 por su lado positivo, a las otras 15 en cambio se le soldaron a 7 por su lado negativo y 8 por su lado positivo.

El siguiente proceso fue hacer 15 filas de 7 celdas, la primera que fue soldada con el segmento de 33 y 10 cm, las otras cinco que fueron soldadas con el de 33cm, y la séptima y última soldada solo con el segmento de 10 cm, para manipular estas filas, a las celdas se las colocó en medio de dos placas de acrílico de las medidas de la fila, por otra parte, la separación entre celdas fue de aproximadamente 5 mm,

cada celda estaba colocada de tal manera que la parte del cable que estaba suelta coincidía con la parte posterior de la celda siguiente, para que el terminal negativo se conecte con el positivo y estén conectadas en serie, luego de posicionarlas se les dio la vuelta para que se pueda soldar por la parte posterior, se coloco cinta para que la separación se mantenga, como se muestra en la figura.

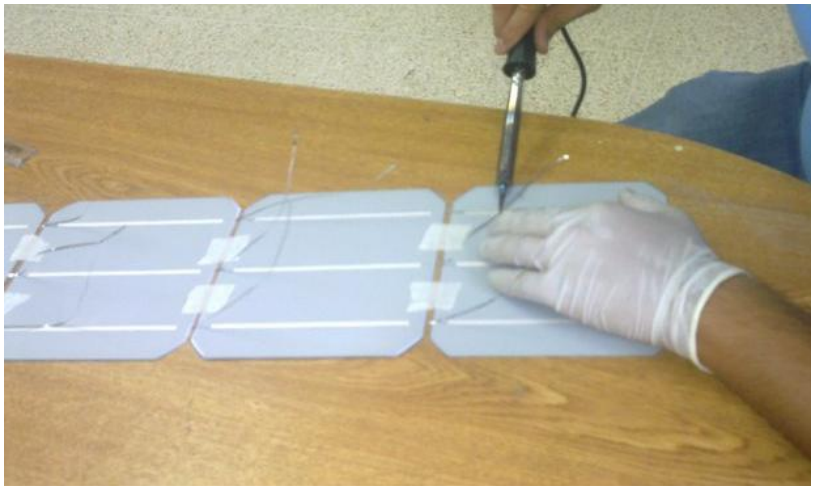


FIGURA 7.22 SOLDADURA EN SERIE DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Una vez que se tuvo las filas listas se las ordenó en tres arreglos de 4 filas y un arreglo de 3 filas, se consideró colocarlos de tal manera que de los extremos de un mismo lado de filas, seguidas de los terminales tengan cargas opuestas para que se puedan ser conectadas en serie,

cada arreglo descasaba en su parte frontal sobre papel periódico y sobre el acrílico que fue previamente cortado a medida, por otra parte, la separación entre filas es 5 mm, como se muestra en la figura.

FIGURA 7.23 DISTRIBUCIÓN DE LAS FILAS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

Entonces se estuvo listo para pegar las celdas a su base, esto se logró, con una base de elastómero de silicona y un agente de curado para el elastómero de silicona “184 Sylgard”, como se muestra en la siguiente figura, mezclando estos componentes se obtiene un pegamento de buena resistencia y compatible entre las celdas y la madera.

FIGURA 7.24 ELASTÓMERO DE SILICONA "184 SYLGARD"

Una vez mezclados estos componentes se lo aplica y esparce con una brocha a la superficie de la madera balsa reforzada, esta superficie y la brocha deben de estar lo más limpio posible, este proceso se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 7.25 DISTRIBUCIÓN DE LA BASE SILICONA

Inmediatamente después se toma el arreglo correspondiente que previamente fue ordenado y cuidadosamente se le da vuelta para que la parte posterior de las celdas entre en contacto con el pegamento, retirándole al instante el acrílico y el papel periódico, la distribución del pegamento y este proceso se repite con los otros tres arreglos, se puede ordenar con la mano delicadamente las celdas que no estén en la posición correcta, el secado del pegamento se dio luego de 72 horas, en la siguiente figura se muestra el secado de los paneles.

FIGURA 7.26 SECADO DE LOS PANELES

Cuando se secaron los paneles se procedió a unir cada fila en serie con la fila adyacente, esto se logró soldando el cable libre en los extremos de la fila de celdas a una cinta metálica conductora para formar el arreglo en serie de las filas.

Los paneles fotovoltaicos finalizados y ensamblados en la parte superior de la carrocería del vehículo solar se muestran en la figura.

FIGURA 7.27 PANELES FOTOVOLTAICOS FINALIZADOS Y ENSAMBLADOS

Componentes del Sistema Eléctrico

- Baterías
- Banco de relés
- Controlador
- Tarjeta de control
- Pulsador para conmutación
- Caja de control de luces

Entre los componentes eléctricos y electrónicos que conforman el vehículo solar, están las baterías conectadas independientemente al

banco de relés para permitir la conmutación de las mismas. El banco de relés está formando por tres relés los cuales permiten conmutar la carga de las baterías con los paneles, la descarga de las baterías con la carga, en este caso el motor eléctrico, y permiten compensar el voltaje de carga de las baterías con el grupo de celdas alternativas realizando la conexión y desconexión del mismo según se requiera. En la parte frontal del conductor se encuentran el panel indicador del estado de las baterías, los botones de conmutación, y de control del sistema de luces del vehículo.

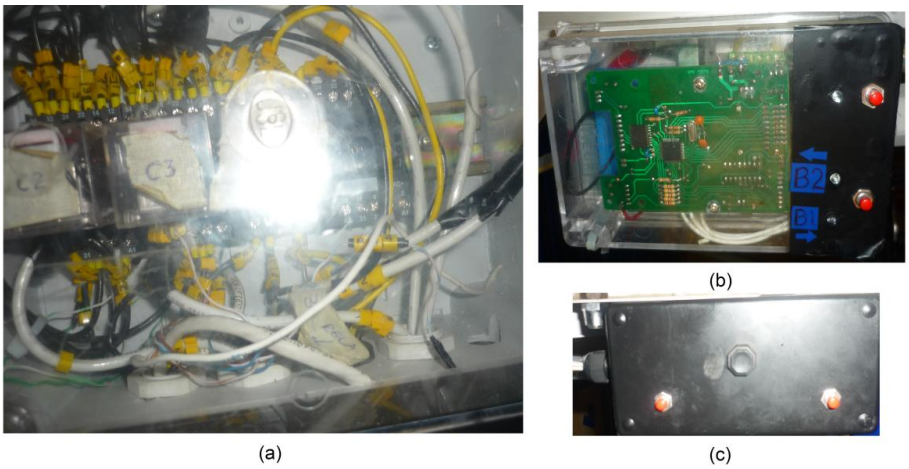


FIGURA 7.28 COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DEL VEHÍCULO (A) BANCO DE RELÉS PARA CONMUTACIÓN (B) TARJETA DE CONTROL Y PULSADORES PARA CONMUTACIÓN (C) CAJA DE CONTROL DEL SISTEMA DE LUCES.

7.2. Ensamblaje de Componentes Mecánicos y Eléctricos

Después de haber construido todos los elementos mecánicos y conseguidos las piezas estándar que conforman el vehículo se empieza el ensamble de estos componentes

Se introduce los bocines A1 y B1 en los extremos de los brazos superiores e inferiores, y en el extremo del pivote del balancín respectivamente, utilizando un ajuste de presión.

Se ubica los brazos superiores e inferiores de la suspensión delantera y el balancín de la suspensión posterior en la posición correcta unidos por medio de pernos. El ajuste entre los bocines y los pernos de sujeción, es de tipo móvil. En la figura 7.29 se muestra un corte transversal del ensamble de los componentes del sistema de suspensión.

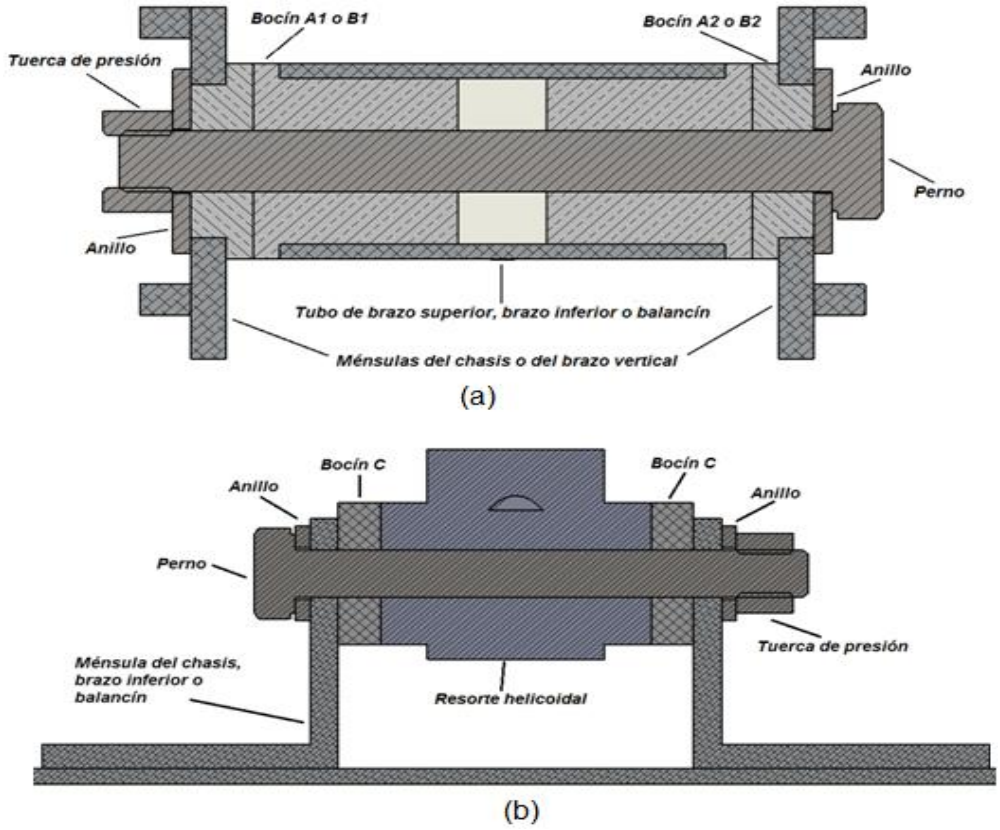


FIGURA 7.29 ENSAMBLE DE ELEMENTOS MECÁNICOS (A) PIVOTES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DEL VEHÍCULO (B) SOPORTE DE LOS RESORTES DE LA SUSPENSIÓN.

En la figura 7.30 se muestra el detalle del ensamble de las pistas de la dirección en la parte superior e inferior del tubo de dirección, las mismas que permiten la movilidad y la fijación del eje de la dirección con el chasis de los elementos de la suspensión.

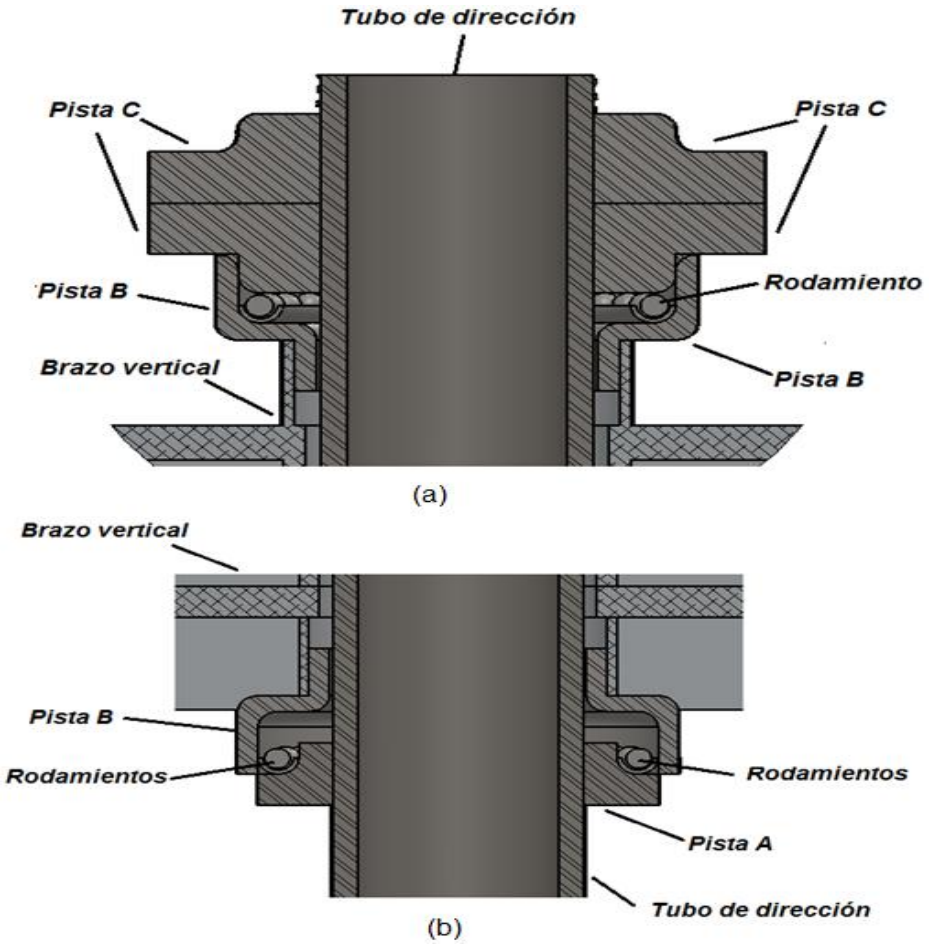


FIGURA 7.30 DETALLE DEL ENSAMBLE DE LAS PISTAS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN (A) PARTE SUPERIOR (B) PARTE INFERIOR

En la figura 7.31 se muestra el detalle, del la unión roscada de la rotula que permite la unión móvil entre el brazo de la dirección y la barra de enlace del sistema de dirección.

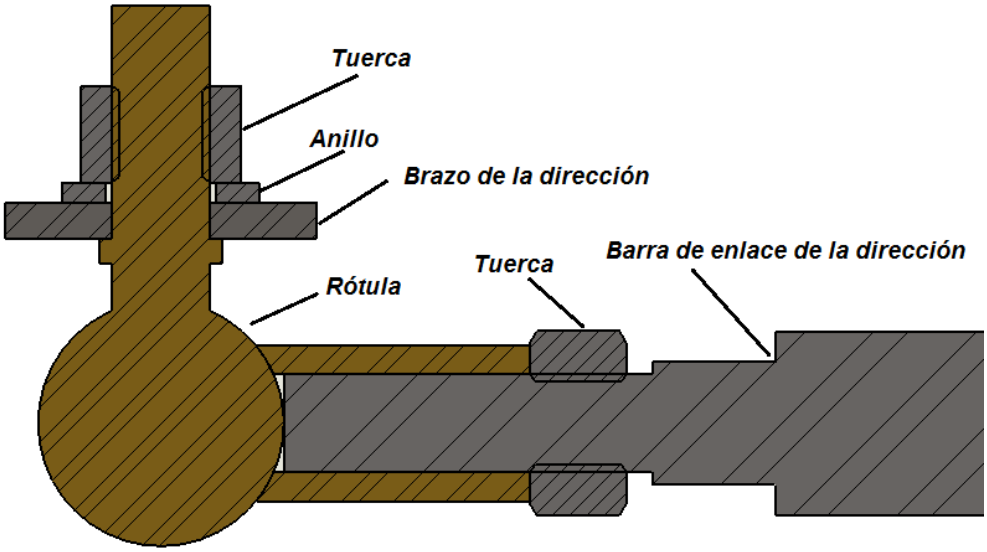


FIGURA 7.31 DETALLE DEL ENSAMBLE DE LA RÓTULA DE LA DIRECCIÓN

7.3 Pruebas Estáticas

Las pruebas estáticas del vehículo se las realizó en forma iterativa con la construcción del mismo, para medir el rendimiento y fiabilidad de los sistemas eléctricos y mecánicos del vehículo, y para asegurar el cumplimento de las normas establecidas por los organizadores, cuando el vehículo está detenido.

La estructura del chasis fue sometida a una carga de 160 Kg, correspondiente al peso de dos personas, se verificó que dicha

estructura soporta este peso, por lo que el chasis es confiable y seguro.

Una de las primeras pruebas eléctricas fue medir los voltajes de circuito abierto de los paneles y realizar las pruebas de carga y descarga de las baterías, se realizaron mediciones de corriente y voltaje cada dos minutos de una batería de iones de litio de 36 V y 16 Ah, totalmente descargada, mientras esta se cargaba de distintas formas, con la energía de la red eléctrica y con los paneles fotovoltaicos directamente conectados, es decir, sin usar regulador, lo primero se dio a conocer fue que la batería no permitía que se le cargase con las 15 o 14 filas de celdas conectadas, porque su voltaje era muy alto y el circuito de la batería simplemente se abría, es por esto que se realizó este experimento de carga con 13 y 12 filas de celdas conectadas en serie, esto se llevó a cabo en el parqueadero de la FIMCP el 5 de Septiembre de 2011 en un día soleado con irradiación solar entre los 800 y 900 W/m2 desde las 10h00 hasta las 11h00 con una temperatura promedio de 26 ªC, los resultados se representan en las siguientes figuras.

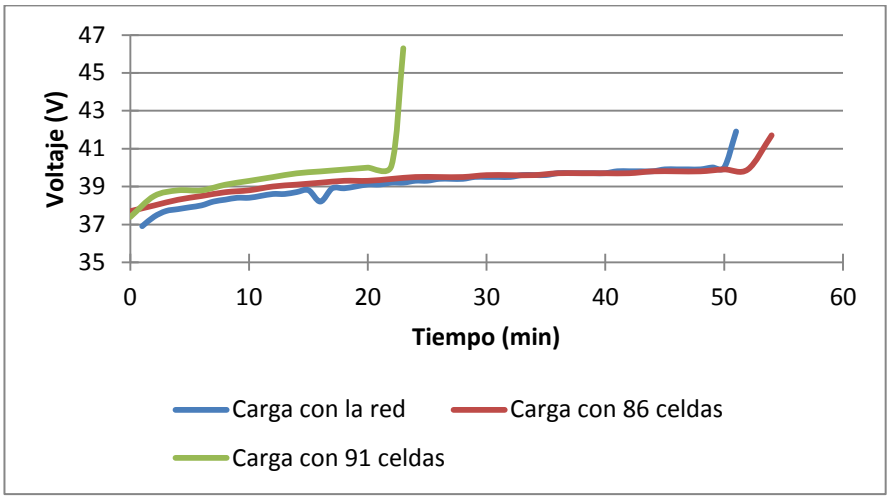


FIGURA 7.32 VOLTAJE DE BATERÍA VS TIEMPO DE CARGA

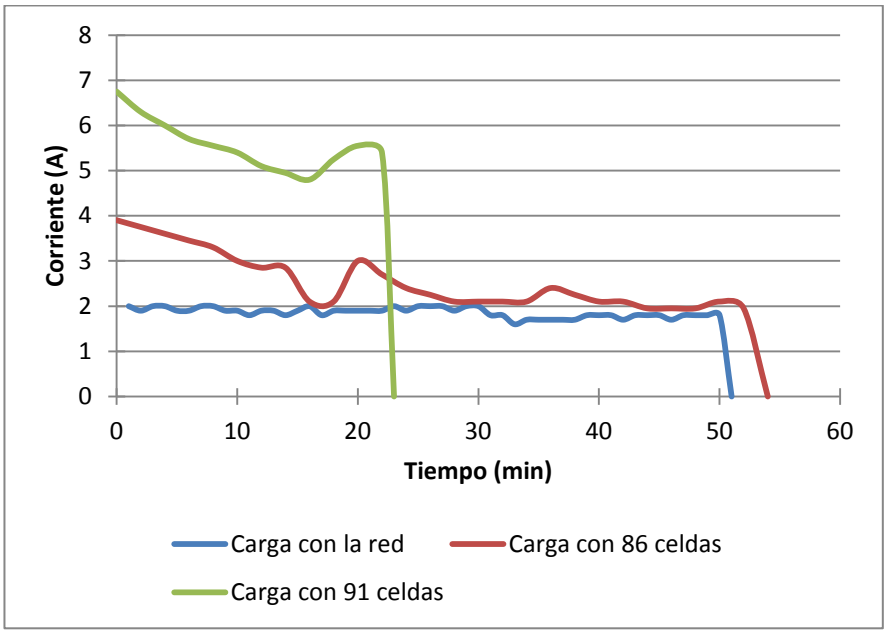


FIGURA 7.33 CORRIENTE DE CARGA VS TIEMPO DE CARGA

El comportamiento del voltaje es aumentar mientras la de la corriente disminuye conforme la carga de la batería. La potencia suministrada hacia la batería se la obtuvo multiplicando los parámetros de corriente y voltaje y se representa en la siguiente figura.

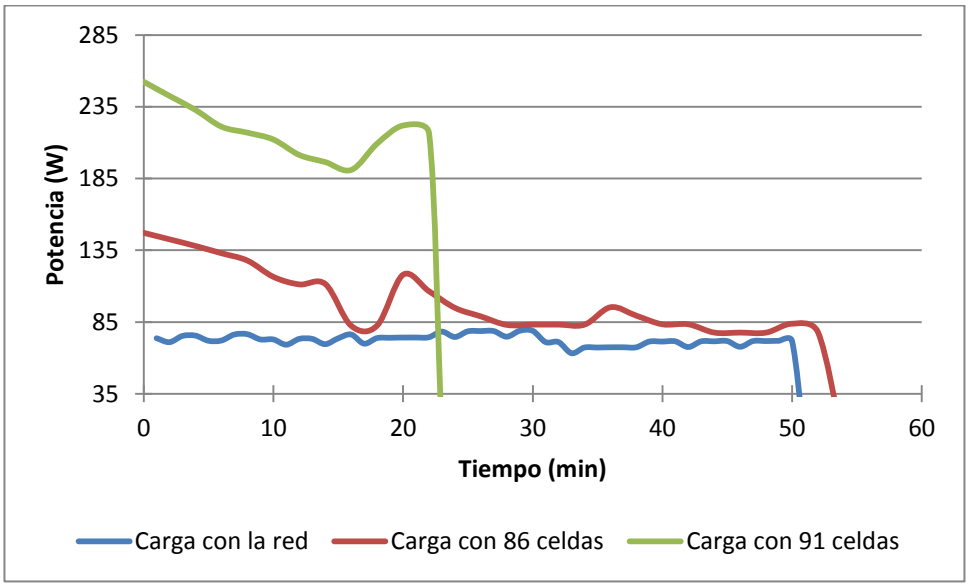


FIGURA 7.34 POTENCIA ENTREGADA A LA BATERÍA VS TIEMPO

La mejor opción para cargar las baterías, es con las 13 filas que representan 91 celdas fotovoltaicas conectadas en serie.

Las pruebas del cumplimiento de las normas de la competencia se las realizaron en el campus, y luego se las comprobó en Chile, las cuales fueron.

La organización verificó que el vehículo de no exceda las dimensiones máximas permitidas, las cuales fueron 2.5 m de lago, 1.2 m de ancho y 1.8 de alto, el vehículo tiene las máximas dimensiones en el largo y ancho, pero su altura es de 1.4 m.

El peso del vehículo (sin piloto) es de 100,5 Kg, con una distribución de peso 70 30 % en los dos puntos de apoyo delanteros y en el posterior respectivamente, es importante señalar que no existían limitaciones en el peso.

FIGURA 7.35 PESAJE DEL VEHÍCULO (A) VEHÍCULO SOLAR SOBRE LAS BALANZAS (B) PESO Y DISTRIBUCIÓN DEL MISMO

Las reglas de seguridad establecen que, el tiempo de salida del piloto no tiene que ser mayor de 12 segundos (los cuatro pilotos promediaron un tiempo de evacuación de 10 segundos), deben contar con, retrovisores, señalización en las zonas seguras para manipular el vehículo, protección en los piñones y cadenas

Las normas de seguridad eléctricas exigían que, todos los cables debieran estar protegidos y aislados, contar con señalización en zonas de alto voltaje, switch de seguridad del sistema eléctrico de fácil alcance para el piloto y/o para una persona desde el exterior del

vehículo, las direccionales y luces de freno debían ser visibles a 20 m de distancia.

La prueba estática mas desafiante fue el mantener el vehículo frenado en una pendiente de 15°, porque en el campus se lo comprobó sobre el concreto, pero en las pruebas oficiales fue sobre una superficie de madera, se utilizó los frenos de disco en las ruedas delanteras, sin utilizar los frenos de herradura de la rueda posterior.

7.4 Pruebas Dinámicas

Las pruebas dinámicas del vehículo se realizaron a partir de la instalación del sistema de transmisión, para evaluar el rendimiento y fiabilidad del vehículo, frente a las condiciones establecidas por los organizadores.

Se rodó en las inmediaciones del campus “Gustavo Galindo” para observar el desempeño del piloto y del vehículo con respecto a la alineación, convergencia y giro de las ruedas delanteras, la alineación

de la rueda posterior, respuesta del sistema de transmisión humana y de frenos, para realizar las respectivas modificaciones y regulaciones para estos sistemas, y para verificar las condiciones de velocidad, frenado, maniobrabilidad, establecidas por la organización. Estas pruebas luego se las comprobó en la pista del club de campo “Las Vizcachas”, situada en el sur este de la ciudad de Santiago.

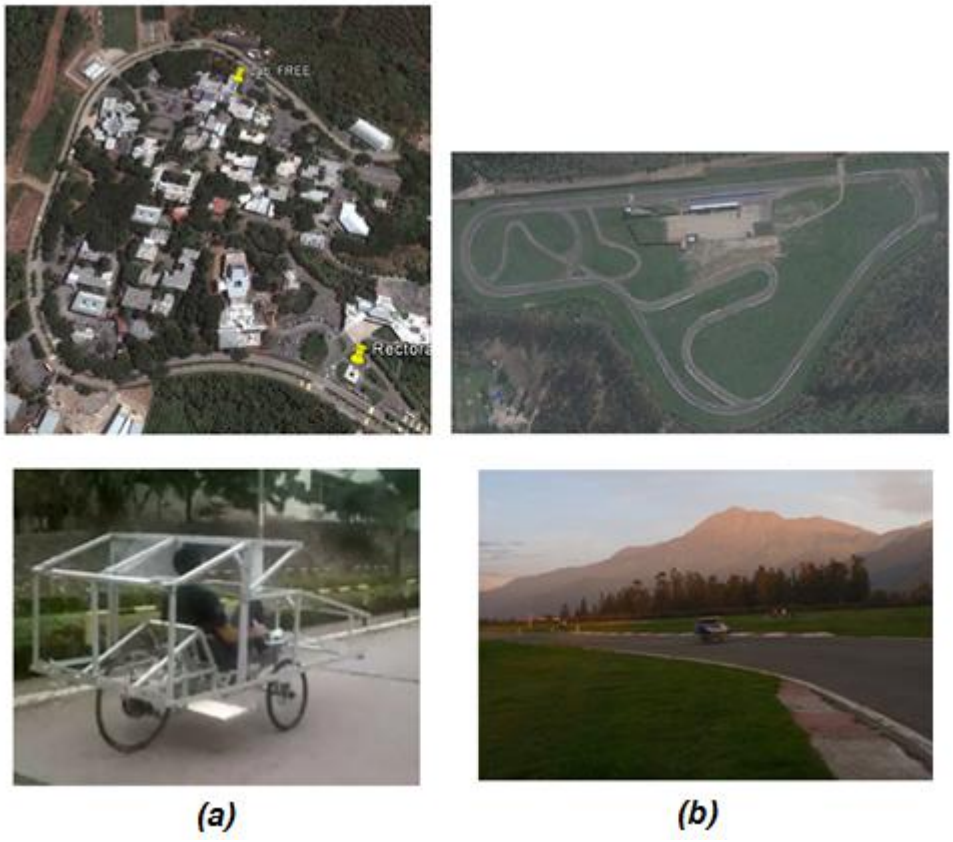


FIGURA 7.36 VISTA SATELITAL Y PRUEBAS DINÁMICAS (A) CAMPUS DE LA ESPOL “GUSTAVO GALINDO” (B) PISTA “LAS VIZCACHAS”

La primara prueba dinámica de clasificación fue el giro en U, en ambas direcciones en una pista de 9 m de ancho, con esta prueba verificamos que el espacio mínimo, requerido por el vehículo para realizar un viraje en U es de 4.5 m.

Para evaluar la velocidad y maniobrabilidad del vehículo, se recorrió una distancia de 150 m, sin cambios de altura, con conos en la vía, para probar la respuesta del vehículo a los obstáculos y curvas, este recorrido se cumplió en 32 s con una velocidad promedio de 17 Km/hr, la velocidad mínima exigida en la competencia fue de 15 Km/h en todas las pruebas dinámicas.

La prueba de frenado consistía en disminuir a cero la velocidad del vehículo en una distancia no mayor a 5 m, a partir de mínimo 15 Km/h, para verificar este parámetro en el frenado del vehículo, se midió el tiempo que demora en recorrer 10 m, el cual fue de 2.1 s, alcanzando una velocidad inicial de 17 Km/h al momento de aplicar los frenos, la distancia de frenado que se obtuvo fue de 4,8 m, la prueba se representa en el siguiente esquema.

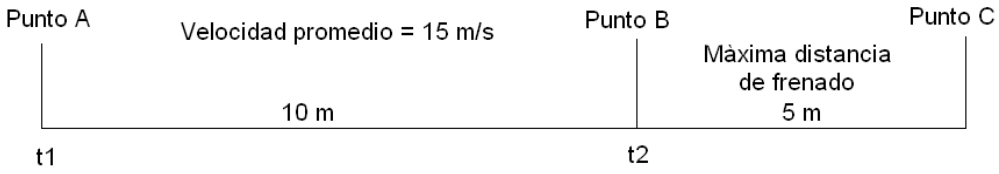


FIGURA 7.37 ESQUEMA DE LA PRUEBA DE FRENADO

La prueba de fricción que era parecida a la prueba anterior, pero en vez de frenar en el punto B se deja libre al vehículo de cualquier fuerza motriz, ya sea humana o del motor eléctrico, con una velocidad de 15 Km/h, y se mide el recorrido realizado por este hasta detenerse por completo, el cual es un indicador de las pérdidas por fricción, se recorrió 38 m.

Con todo este tipo de pruebas realizadas al vehículo, se clasificó a la competencia en el desierto de Atacama.

CAPÍTULO 8

8. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Resultados

Los resultados obtenidos en este trabajo de tesis enfocado al diseño y construcción del primer vehículo solar en el Ecuador, constituye la memoria técnica, del desarrollo de este proyecto, creando nuestra propia tecnología, impulsando la investigación en el campo de las energías renovables, las cuales son una alternativa energética limpia y útil. Se participó en la primera competencia de vehículos impulsados por energía solar y humana realizada en el Desierto de Atacama en Chile, en la cual se tuvo una participación destacada con la obtención del noveno lugar en la competencia al recorrer 200 Km en tres días.

Conclusiones

- Con este trabajo de tesis se ha logrado realizar la investigación, diseño, y construcción de un vehículo híbrido el cual utiliza la energía del sol y la energía humana para efectuar su movimiento. Este vehículo bautizado con el nombre Inti Invictus constituye un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico.

- Se obtuvo un vehículo, de 2.5 m de largo, 1.2 m de ancho y 1.40 m de alto para un ocupante, con paneles solares fotovoltaicos fabricados con un área efectiva para recepción de energía solar de 2.56 m^2; con esta área y con una radiación de 1000 W/m^2, se obtiene una potencia del sistema fotovoltaico de 235 W, con una eficiencia del sistema de carga del 9.12%, por lo tanto el sistema de carga funciona pero no en la eficiencia que se esperaba la misma que esta alrededor del 14%.

- Para tener una estabilidad confiable del vehículo, dar confort al piloto y proteger las celdas fotovoltaicas de vibraciones de las, el vehículo tiene un sistema de suspensión independiente, que absorbe la energía de los impactos transmitidos en los puntos de apoyo, por lo

que se puede concluir que el sistema de suspensión es necesario para el correcto funcionamiento del vehículo.

- El vehículo posee un sistema de frenos de disco, accionados mecánicamente de forma independiente en cada rueda por medio de cables de acero, esta configuración presenta problemas de maniobrabilidad en el vehículo al no estar correctamente calibrados y regulados de igual forma en la ruedas delanteras.

- La falta de precisión en el proceso de construcción de los elementos del sistema de suspensión del vehículo, ocasionó que las ruedas delanteras no cuenten con un ángulo de caída o camber simétrico, por lo que se realizó modificaciones al diseño original, implementando un sistema de pernos excéntricos en los pivotes de la suspensión delantera, para regular la inclinación de las ruedas, pero este mecanismo, debido al movimiento y vibraciones en el sistema de suspensión requieren ser regulados constantemente.

- El sistema de transmisión mecánica, permite movilizar el vehículo sin necesidad de energía solar o eléctrica, las guías colocadas en el

chasis evitan que la cadena se salga de su posición, pero el desviador delantero no responde como se espera, porque al accionarlos en ocasiones la cadena no encaja en los dientes del plato palanca.

- Debido a la mayor facilidad en la construcción, se implementó el diseño de forma menos aerodinámico, con lo que aumentaron las pérdidas, pero permite el uso del sistema de aletas, las cuales requieren un viento lateral con una velocidad de 10 m/s, para sacar del reposo al vehículo, lo cual compensa la fuerza de resistencia a la rodadura.

- La estructura del vehículo, construida con perfiles de aluminio soldadas entre sí y recubierta con madera de balsa, garantiza que el vehículo tenga un peso final competitivo, el cual es de 105.5 Kg, esto lo hace relativamente liviano en comparación a otros modelos.

- La fuente de energía del sistema eléctrico está constituida por 2 baterías con una alta relación energía peso, que trabajan de forma independiente a 36 V, (las baterías definen el voltaje del sistema),

mientras se carga una batería con los paneles fotovoltaicos, la otra descarga su energía al motor eléctrico de 500 W y viceversa. El tiempo de carga es de 20 minutos, y el tiempo de descarga es de 10 minutos, por lo tanto se debe usar la energía humana para compensar el tiempo de carga, si las baterías están inicialmente cargadas, sin radiación solar, por lo tanto la autonomía del vehículo es de 20 minutos.

- Utilizando la potencia de un motor de 500 W en una recta sin diferencia de altura, se logra una velocidad máxima de 30 Km/h, y con el sistema de transmisión mecánica, impulsada por el piloto, se obtiene una velocidad de 15 Km/h. Por lo tanto con el vehículo se logra una velocidad promedio de 22.5 Km/h.

Recomendaciones

- Es recomendable, usar un regulador solar, en la configuración de la distribución de la energía, de tal forma que, el motor eléctrico se alimente de dos fuentes independientes, una proveniente de los paneles fotovoltaicos y otra del banco de baterías (conectadas en paralelo), pero teniendo en cuenta el equilibrio entre el peso y el número de baterías, con lo cual se puede aumentar la eficiencia y autonomía del vehículo.

- Para tener un sistema de frenos y transmisión más confiables y seguros, se recomienda tener una mejor calibración en los frenos de disco y en el desviador delantero.

- La ubicación del asiento afecta directamente la altura del centro de gravedad del vehículo, siendo recomendable un centro de gravedad lo más cerca del suelo posible.

- Debido a las vibraciones e impactos que sufre el sistema de suspensión y dirección del vehículo, es recomendable diseñar estos elementos en forma robusta y segura, para evitar inconvenientes en

el sistema de dirección, que afecta la resistencia a la rodadura del vehículo.

- Es de mucha ayuda y representa una gran ventaja competitiva, aprovechar la energía del viento, pero debido a las condiciones variables e incontrolables del mismo, se recomienda usar un sistema de aletas con 180^{o} de libertad y con un sistema automático que controle la posición de estas con respecto a la dirección del viento, para lograr un mejor impulso.

- Para un mejor desempeño del vehículo considerando que las cargas aerodinámicas se incrementan con el cuadrado de la velocidad, y que las formas angulares presentan una mayor resistencia aerodinámica, se recomienda superficies curvas aerodinámicas en la forma del vehículo solar, disminuyendo de esta manera las cargas aerodinámicas.

APÉNDICES

APÉNDICE I

TABLAS

Estimación de la energía solar

Hora	Tiempo (T)	Zenit (ϕ)	Potencia panel 1 (W)	Potencia panel 2 (W)	Potencia panel 3 (W)	Potencia de las celdas (W)
DIA 1						
9:30-9:35	9,54	52,32	73,30	63,32	87,70	224,33
9:35-9:40	9,62	51,04	77,00	65,15	88,92	231,07
9:40-9:45	9,71	49,77	80,62	66,91	90,07	237,60
9:45-9:50	9,79	48,52	84,14	68,62	91,17	243,93
9:50-9:55	9,87	47,29	87,57	70,27	92,20	250,04
9:55-10:00	9,96	46,08	90,90	71,87	93,18	255,95
10:00-10:05	10,04	44,89	94,14	73,40	94,10	261,65
10:05-10:10	10,12	43,72	97,29	74,88	94,97	267,14
10:10-10:15	10,21	42,57	100,34	76,30	95,78	272,42
10:15-10:20	10,29	41,44	103,30	77,67	96,54	277,50
10:20-10:25	10,37	40,33	106,15	78,98	97,25	282,38
10:25-10:30	10,46	39,25	108,91	80,23	97,90	287,05
10:30-10:35	10,54	38,19	111,58	81,43	98,51	291,52
10:35-10:40	10,62	37,15	114,15	82,58	99,08	295,80
10:40-10:45	10,71	36,14	116,62	83,67	99,60	299,89
10:45-10:50	10,79	35,15	119,00	84,71	100,08	303,79
10:50-10:55	10,87	34,18	121,28	85,70	100,51	307,50
10:55-11:00	10,96	33,24	123,48	86,65	100,91	311,03
11:00-11:05	11,04	32,33	125,57	87,54	101,27	314,39
11:05-11:10	11,12	31,44	127,58	88,39	101,60	317,57
11:10-11:15	11,21	30,58	129,50	89,19	101,89	320,58
11:15-11:20	11,29	29,75	131,34	89,95	102,15	323,43
11:20-11:25	11,37	28,94	133,08	90,66	102,38	326,12
11:25-11:30	11,46	28,17	134,74	91,33	102,59	328,66
11:30-11:35	11,54	27,42	136,32	91,96	102,77	331,05
11:35-11:40	11,62	26,69	137,81	92,56	102,93	333,30

11:40-11:45	11,71	26,00	139,23	93,11	103,06	335,41
11:45-11:50	11,79	25,34	140,57	93,64	103,18	337,38
11:50-11:55	11,87	24,70	141,83	94,12	103,27	339,22
11:55-12:00	11,96	24,10	143,01	94,57	103,36	340,94
12:00-12:05	12,04	23,52	144,12	94,99	103,42	342,54
12:05-12:10	12,12	22,97	145,16	95,38	103,47	344,02
12:10-12:15	12,21	22,46	146,13	95,74	103,52	345,39
12:15-12:20	12,29	21,98	147,04	96,07	103,55	346,66
12:20-12:25	12,37	21,52	147,87	96,38	103,57	347,82
12:25-12:30	12,46	21,10	148,64	96,65	103,59	348,88
12:30-12:35	12,54	20,71	149,34	96,91	103,60	349,85
12:35-12:40	12,62	20,35	149,99	97,13	103,60	350,72
12:40-12:45	12,71	20,02	150,57	97,34	103,60	351,51
12:45-12:50	12,79	19,72	151,09	97,52	103,60	352,21
12:50-12:55	12,87	19,46	151,55	97,68	103,59	352,82
12:55-13:00	12,96	19,23	151,95	97,82	103,59	353,36
13:00-13:05	13,04	19,03	152,30	97,94	103,58	353,82
13:05-13:10	13,12	18,86	152,59	98,04	103,57	354,20
13:10-13:15	13,21	18,72	152,82	98,12	103,57	354,50
13:15-13:20	13,29	18,62	152,99	98,18	103,56	354,74
13:20-13:25	13,37	18,55	153,12	98,22	103,56	354,89
13:25-13:30	13,46	18,51	153,18	98,24	103,56	354,98
13:30-13:35	13,54	18,50	153,19	98,25	103,56	354,99
13:35-13:40	13,62	18,53	153,15	98,23	103,56	354,94
13:40-13:45	13,71	18,59	153,05	98,20	103,56	354,81
13:45-13:50	13,79	18,68	152,90	98,14	103,57	354,61
13:50-13:55	13,87	18,80	152,69	98,07	103,57	354,33
13:55-14:00	13,96	18,95	152,42	97,98	103,58	353,98
14:00-14:05	14,04	19,14	152,10	97,87	103,58	353,56
14:05-14:10	14,12	19,36	151,72	97,74	103,59	353,05

14:10-14:15	14,21	19,61	151,28	97,59	103,60	352,47
14:15-14:20	14,29	19,90	150,79	97,42	103,60	351,80
14:20-14:25	14,37	20,21	150,23	97,22	103,60	351,05
14:25-14:30	14,46	20,56	149,61	97,00	103,60	350,21
14:30-14:35	14,54	20,94	148,93	96,76	103,59	349,28
14:35-14:40	14,62	21,35	148,19	96,49	103,58	348,26
14:40-14:45	14,71	21,79	147,38	96,20	103,56	347,14
14:45-14:50	14,79	22,26	146,51	95,88	103,53	345,92
14:50-14:55	14,87	22,76	145,57	95,53	103,49	344,59
14:55-15:00	14,96	23,29	144,55	95,15	103,44	343,15
15:00-15:05	15,04	23,86	143,47	94,75	103,38	341,60
15:05-15:10	15,12	24,45	142,32	94,31	103,31	339,94
15:10-15:15	15,21	25,07	141,09	93,84	103,22	338,14
15:15-15:20	15,29	25,73	139,78	93,33	103,11	336,22
15:20-15:25	15,37	26,41	138,40	92,79	102,98	334,17
15:25-15:30	15,46	27,12	136,94	92,21	102,84	331,98
15:30-15:35	15,54	27,86	135,39	91,59	102,67	329,65
15:35-15:40	15,62	28,62	133,77	90,94	102,47	327,18
15:40-15:45	15,71	29,42	132,06	90,24	102,25	324,55
15:45-15:50	15,79	30,24	130,26	89,50	102,00	321,76
15:50-15:55	15,87	31,09	128,38	88,72	101,72	318,81
15:55-16:00	15,96	31,97	126,40	87,89	101,41	315,70
16:00-16:05	16,04	32,87	124,34	87,01	101,06	312,42
16:05-16:10	16,12	33,80	122,19	86,09	100,68	308,96
16:10-16:15	16,21	34,75	119,94	85,12	100,26	305,32
16:15-16:20	16,29	35,73	117,60	84,10	99,80	301,50
16:20-16:25	16,37	36,73	115,17	83,03	99,30	297,49
16:25-16:30	16,46	37,76	112,64	81,90	98,75	293,29
16:30-16:35	16,54	38,81	110,01	80,73	98,16	288,89
16:35-16:40	16,62	39,89	107,29	79,49	97,52	284,30

16:40-16:45	16,71	40,98	104,47	78,21	96,83	279,51
16:45-16:50	16,79	42,10	101,56	76,86	96,09	274,51
16:50-16:55	16,87	43,24	98,54	75,47	95,30	269,31
16:55-17:00	16,95	44,41	95,44	74,01	94,46	263,91
17:00-17:05	17,04	45,59	154,15	72,50	42,55	269,20
17:05-17:10	17,12	46,79	152,11	70,93	40,56	263,60
17:10-17:15	17,20	48,02	149,97	69,30	38,51	257,79
17:15-17:20	17,29	49,26	147,73	67,61	36,42	251,77
17:20-17:25	17,37	50,52	145,38	65,87	34,28	245,53
17:25-17:30	17,45	51,80	142,93	64,07	32,09	239,09
17:30-17:35	17,54	53,15	140,26	62,13	29,76	232,15
17:35-17:40	17,63	54,46	137,59	60,22	27,47	225,28
17:40-17:45	17,71	55,79	134,82	58,25	25,15	218,21
17:45-17:50	17,79	57,13	131,93	56,22	22,79	210,94
17:50-17:55	17,87	58,49	128,95	54,14	20,38	203,47
17:55-18:00	17,96	59,87	125,85	52,01	17,94	195,80
18:05-18:10	18,12	62,60	119,49	47,67	13,05	180,21
18:10-18:15	18,20	64,01	116,09	45,39	10,52	172,00
18:15-18:20	18,29	65,44	112,59	43,06	7,95	163,61
18:20-18:25	18,37	66,87	109,00	40,69	5,36	155,05
18:25-18:30	18,45	68,32	105,31	38,27	2,75	146,33
TOTAL			***14046,66***	***9007,92***	***9494,26***	***32548,84***
			43,16%	***27,68%***	***29,17%***	***100,00%***
DIA 2						
9:00-9:05	9,04	60,69	88,75	50,71	50,71	190,17
9:05-9:10	9,12	59,33	92,49	52,85	52,85	198,18
9:10-9:15	9,21	57,98	96,13	54,93	54,93	206,00
9:15-9:20	9,29	56,64	99,69	56,97	56,97	213,62
9:20-9:25	9,37	55,32	103,15	58,95	58,95	221,04
9:25-9:30	9,46	54,02	106,52	60,87	60,87	228,26

9:30-9:35	9,54	52,73	109,79	62,74	62,74	235,27
9:35-9:40	9,62	51,46	112,97	64,55	64,55	242,08
9:40-9:45	9,71	50,20	116,05	66,31	66,31	248,67
9:45-9:50	9,79	48,97	119,02	68,01	68,01	255,05
9:50-9:55	9,87	47,75	121,90	69,66	69,66	261,22
9:55-10:00	9,96	46,55	124,68	71,25	71,25	267,18
10:00-10:05	10,04	45,37	127,37	72,78	72,78	272,93
10:05-10:10	10,12	44,21	129,95	74,26	74,26	278,46
10:10-10:15	10,21	43,07	132,43	75,68	75,68	283,79
10:15-10:20	10,29	41,96	134,82	77,04	77,04	288,90
10:20-10:25	10,37	40,86	137,11	78,35	78,35	293,81
10:25-10:30	10,46	39,79	139,31	79,61	79,61	298,52
10:30-10:35	10,54	38,74	141,41	80,81	80,81	303,03
10:35-10:40	10,62	37,71	143,42	81,96	81,96	307,33
10:40-10:45	10,71	36,71	145,34	83,05	83,05	311,45
10:45-10:50	10,79	35,73	147,17	84,10	84,10	315,37
10:50-10:55	10,87	34,78	148,92	85,09	85,09	319,11
10:55-11:00	10,96	33,85	150,57	86,04	86,04	322,66
11:00-11:05	11,04	32,94	152,15	86,94	86,94	326,03
11:05-11:10	11,12	32,07	153,64	87,80	87,80	329,23
11:10-11:15	11,21	31,21	155,06	88,60	88,60	332,26
11:15-11:20	11,29	30,39	156,39	89,37	89,37	335,13
11:20-11:25	11,37	29,59	157,66	90,09	90,09	337,83
11:25-11:30	11,46	28,82	158,85	90,77	90,77	340,38
11:30-11:35	11,54	28,08	159,97	91,41	91,41	342,78
11:35-11:40	11,62	27,36	161,02	92,01	92,01	345,04
11:40-11:45	11,71	26,67	162,01	92,58	92,58	347,16
11:45-11:50	11,79	26,01	162,93	93,10	93,10	349,14
11:50-11:55	11,87	25,39	163,79	93,60	93,60	350,99
11:55-12:00	11,96	24,79	164,60	94,06	94,06	352,71

12:00-12:05	12,04	24,22	165,35	94,48	94,48	354,32
12:05-12:10	12,12	23,67	166,04	94,88	94,88	355,80
12:10-12:15	12,21	23,16	166,68	95,25	95,25	357,18
12:15-12:20	12,29	22,68	167,28	95,59	95,59	358,45
12:20-12:25	12,37	22,23	167,82	95,90	95,90	359,62
12:25-12:30	12,46	21,81	168,32	96,18	96,18	360,68
12:30-12:35	12,54	21,43	168,77	96,44	96,44	361,65
12:35-12:40	12,62	21,07	169,18	96,67	96,67	362,53
12:40-12:45	12,71	20,74	169,55	96,89	96,89	363,32
12:45-12:50	12,79	20,45	169,88	97,07	97,07	364,02
12:50-12:55	12,87	20,18	170,17	97,24	97,24	364,64
12:55-13:00	12,96	19,95	170,42	97,38	97,38	365,18
13:00-13:05	13,04	19,75	170,63	97,50	97,50	365,64
13:05-13:10	13,12	19,58	170,81	97,61	97,61	366,03
13:10-13:15	13,21	19,45	170,96	97,69	97,69	366,34
13:15-13:20	13,29	19,34	171,07	97,75	97,75	366,57
13:20-13:25	13,37	19,27	171,14	97,80	97,80	366,73
13:25-13:30	13,46	19,23	171,18	97,82	97,82	366,82
13:30-13:35	13,54	19,22	171,19	97,82	97,82	366,84
13:35-13:40	13,62	19,24	171,17	97,81	97,81	366,79
13:40-13:45	13,71	19,30	171,11	97,78	97,78	366,67
13:45-13:50	13,79	19,39	171,02	97,73	97,73	366,47
13:50-13:55	13,87	19,51	170,89	97,65	97,65	366,20
13:55-14:00	13,96	19,66	170,73	97,56	97,56	365,86
14:00-14:05	14,04	19,84	170,54	97,45	97,45	365,44
14:05-14:10	14,12	20,06	170,30	97,32	97,32	364,94
14:10-14:15	14,21	20,30	170,03	97,16	97,16	364,36
14:15-14:20	14,29	20,58	169,73	96,99	96,99	363,70
14:20-14:25	14,37	20,89	169,38	96,79	96,79	362,96
14:25-14:30	14,46	21,23	168,99	96,57	96,57	362,13

14:30-14:35	14,54	21,61	168,56	96,32	96,32	361,21
14:35-14:40	14,62	22,01	168,09	96,05	96,05	360,19
14:40-14:45	14,71	22,44	167,57	95,75	95,75	359,08
14:45-14:50	14,79	22,91	167,00	95,43	95,43	357,86
14:50-14:55	14,87	23,40	166,39	95,08	95,08	356,54
14:55-15:00	14,96	23,93	165,72	94,70	94,70	355,12
15:00-15:05	15,04	24,48	165,00	94,29	94,29	353,57
15:05-15:10	15,12	25,07	164,23	93,84	93,84	351,91
15:10-15:15	15,21	25,68	163,39	93,37	93,37	350,13
15:15-15:20	15,29	26,32	162,50	92,86	92,86	348,22
15:20-15:25	15,37	26,99	161,55	92,31	92,31	346,17
15:25-15:30	15,46	27,69	160,53	91,73	91,73	343,99
15:30-15:35	15,54	28,42	159,44	91,11	91,11	341,67
15:35-15:40	15,62	29,18	158,29	90,45	90,45	339,20
15:40-15:45	15,71	29,96	157,07	89,75	89,75	336,57
15:45-15:50	15,79	30,78	155,77	89,01	89,01	333,79
15:50-15:55	15,87	31,61	154,40	88,23	88,23	330,85
15:55-16:00	15,96	32,48	152,95	87,40	87,40	327,74
16:00-16:05	16,04	33,37	151,41	86,52	86,52	324,46
16:05-16:10	16,12	34,28	149,80	85,60	85,60	321,00
16:10-16:15	16,21	35,23	148,10	84,63	84,63	317,36
16:15-16:20	16,29	36,19	146,32	83,61	83,61	313,54
16:20-16:25	16,37	37,18	144,45	82,54	82,54	309,53
16:25-16:30	16,46	38,20	142,48	81,42	81,42	305,32
16:30-16:35	16,54	39,23	140,43	80,25	80,25	300,92
16:35-16:40	16,62	40,29	138,28	79,02	79,02	296,32
16:40-16:45	16,71	41,38	136,04	77,74	77,74	291,52
16:45-16:50	16,79	42,48	133,70	76,40	76,40	286,51
16:50-16:55	16,87	43,61	131,27	75,01	75,01	281,29
16:55-17:00	16,95	44,76	128,74	73,57	73,57	275,87

17:00-17:05	17,04	45,93	126,11	72,06	72,06	270,23
17:05-17:10	17,12	47,11	123,38	70,50	70,50	264,39
17:10-17:15	17,20	48,32	120,55	68,89	68,89	258,33
17:15-17:20	17,29	49,55	117,63	67,22	67,22	252,06
17:20-17:25	17,37	50,79	114,60	65,49	65,49	245,58
17:25-17:30	17,45	52,06	111,48	63,70	63,70	238,89
17:30-17:35	17,54	53,39	108,12	61,78	61,78	231,68
17:35-17:40	17,63	54,69	104,80	59,88	59,88	224,56
17:40-17:45	17,71	56,00	101,38	57,93	57,93	217,24
17:45-17:50	17,79	57,33	97,87	55,92	55,92	209,71
17:50-17:55	17,87	58,67	94,26	53,86	53,86	201,99
17:55-18:00	17,96	60,03	90,57	51,75	51,75	194,07
TOTAL			***15887,61***	***9078,63***	***9078,63***	***34044,87***
			46,67%	***26,67%***	***26,67%***	***100,00%***
DIA 3						
9:00-9:05	9,04	58,13	129,75	54,69	21,02	205,46
9:05-9:10	9,12	56,75	132,78	56,81	23,47	213,05
9:10-9:15	9,21	55,37	135,69	58,87	25,88	220,44
9:15-9:20	9,29	54,02	138,50	60,87	28,25	227,62
9:20-9:25	9,37	52,68	141,20	62,81	30,57	234,59
9:25-9:30	9,46	51,35	143,79	64,70	32,85	241,34
9:30-9:35	9,54	50,05	146,27	66,53	35,08	247,88
9:35-9:40	9,62	48,76	148,64	68,30	37,26	254,20
9:40-9:45	9,71	47,49	150,90	70,00	39,40	260,30
9:45-9:50	9,79	46,24	153,06	71,65	41,48	266,19
9:50-9:55	9,87	45,01	155,11	73,24	43,51	271,86
9:55-10:00	9,96	43,80	157,06	74,77	45,48	277,31
10:00-10:05	10,04	42,61	158,90	76,25	47,40	282,55
10:05-10:10	10,12	41,44	160,65	77,66	49,27	287,58
10:10-10:15	10,21	40,30	162,30	79,02	51,08	292,39

10:15-10:20	10,29	39,17	163,85	80,31	52,84	297,00
10:20-10:25	10,37	38,07	165,31	81,55	54,54	301,40
10:25-10:30	10,46	37,00	166,68	82,74	56,18	305,60
10:30-10:35	10,54	35,95	167,96	83,87	57,77	309,61
10:35-10:40	10,62	34,92	169,16	84,95	59,31	313,42
10:40-10:45	10,71	33,91	170,27	85,97	60,79	317,03
10:45-10:50	10,79	32,94	171,31	86,95	62,21	320,47
10:50-10:55	10,87	31,98	172,27	87,87	63,58	323,72
10:55-11:00	10,96	31,06	173,16	88,75	64,89	326,80
11:00-11:05	11,04	30,16	173,99	89,58	66,15	329,71
11:05-11:10	11,12	29,29	174,74	90,36	67,35	332,45
11:10-11:15	11,21	28,44	175,43	91,09	68,51	335,03
11:15-11:20	11,29	27,63	176,07	91,79	69,61	337,46
11:20-11:25	11,37	26,84	176,65	92,44	70,66	339,74
11:25-11:30	11,46	26,08	177,17	93,05	71,65	341,88
11:30-11:35	11,54	25,35	177,65	93,63	72,60	343,88
11:35-11:40	11,62	24,65	178,08	94,16	73,50	345,74
11:40-11:45	11,71	23,98	178,47	94,66	74,35	347,48
11:45-11:50	11,79	23,33	178,81	95,13	75,16	349,10
11:50-11:55	11,87	22,72	179,12	95,56	75,91	350,60
11:55-12:00	11,96	22,14	179,40	95,96	76,63	351,98
12:00-12:05	12,04	21,59	179,64	96,33	77,29	353,26
12:05-12:10	12,12	21,07	179,85	96,67	77,92	354,44
12:10-12:15	12,21	20,58	180,04	96,99	78,49	355,53
12:15-12:20	12,29	20,12	180,21	97,28	79,03	356,51
12:20-12:25	12,37	19,70	180,35	97,54	79,53	357,41
12:25-12:30	12,46	19,30	180,47	97,77	79,98	358,23
12:30-12:35	12,54	18,94	180,58	97,99	80,39	358,96
12:35-12:40	12,62	18,61	180,67	98,18	80,77	359,62
12:40-12:45	12,71	18,32	180,74	98,35	81,10	360,20

12:45-12:50	12,79	18,05	180,81	98,50	81,40	360,71
12:50-12:55	12,87	17,82	180,86	98,63	81,66	361,15
12:55-13:00	12,96	17,62	180,90	98,74	81,88	361,53
13:00-13:05	13,04	17,45	180,94	98,83	82,07	361,83
13:05-13:10	13,12	17,32	180,96	98,90	82,21	362,08
13:10-13:15	13,21	17,22	180,98	98,96	82,33	362,27
13:15-13:20	13,29	17,15	181,00	98,99	82,40	362,39
13:20-13:25	13,37	17,12	181,00	99,01	82,44	362,45
13:25-13:30	13,46	17,11	181,00	99,01	82,44	362,46
13:30-13:35	13,54	17,14	181,00	99,00	82,41	362,40
13:35-13:40	13,62	17,21	180,99	98,96	82,34	362,28
13:40-13:45	13,71	17,30	180,97	98,91	82,23	362,11
13:45-13:50	13,79	17,43	180,94	98,84	82,09	361,87
13:50-13:55	13,87	17,60	180,91	98,75	81,91	361,57
13:55-14:00	13,96	17,79	180,87	98,64	81,69	361,20
14:00-14:05	14,04	18,02	180,82	98,52	81,44	360,77
14:05-14:10	14,12	18,28	180,75	98,37	81,14	360,27
14:10-14:15	14,21	18,57	180,68	98,20	80,81	359,70
14:15-14:20	14,29	18,90	180,59	98,01	80,44	359,05
14:20-14:25	14,37	19,26	180,49	97,80	80,04	358,33
14:25-14:30	14,46	19,65	180,37	97,57	79,59	357,52
14:30-14:35	14,54	20,07	180,23	97,31	79,10	356,63
14:35-14:40	14,62	20,52	180,06	97,03	78,56	355,65
14:40-14:45	14,71	21,01	179,88	96,71	77,99	354,59
14:45-14:50	14,79	21,52	179,67	96,38	77,37	353,42
14:50-14:55	14,87	22,07	179,43	96,01	76,71	352,15
14:55-15:00	14,96	22,65	179,16	95,61	76,01	350,78
15:00-15:05	15,04	23,25	178,85	95,18	75,26	349,29
15:05-15:10	15,12	23,89	178,51	94,72	74,46	347,69
15:10-15:15	15,21	24,56	178,13	94,23	73,61	345,97

15:15-15:20	15,29	25,26	177,71	93,69	72,72	344,12
15:20-15:25	15,37	25,99	177,24	93,13	71,78	342,14
15:25-15:30	15,46	26,74	176,72	92,52	70,78	340,02
15:30-15:35	15,54	27,53	176,14	91,87	69,74	337,76
15:35-15:40	15,62	28,34	175,52	91,18	68,65	335,35
15:40-15:45	15,71	29,18	174,83	90,45	67,50	332,79
15:45-15:50	15,79	30,05	174,08	89,68	66,30	330,06
15:50-15:55	15,87	30,94	173,27	88,85	65,05	327,18
15:55-16:00	15,96	31,87	172,39	87,99	63,74	324,12
16:00-16:05	16,04	32,82	171,44	87,07	62,38	320,89
16:05-16:10	16,12	33,79	170,41	86,10	60,97	317,48
16:10-16:15	16,21	34,79	169,30	85,08	59,50	313,88
16:15-16:20	16,29	35,81	168,12	84,01	57,97	310,10
16:20-16:25	16,37	36,86	166,85	82,89	56,39	306,12
16:25-16:30	16,46	37,94	165,49	81,71	54,75	301,94
16:30-16:35	16,54	39,03	164,04	80,47	53,06	297,57
16:35-16:40	16,62	40,15	162,50	79,18	51,31	292,99
16:40-16:45	16,71	41,30	160,86	77,83	49,50	288,20
16:45-16:50	16,79	42,46	159,13	76,43	47,64	283,20
16:50-16:55	16,87	43,65	157,30	74,96	45,73	277,99
16:55-17:00	16,95	44,86	155,36	73,44	43,76	272,56
17:00-17:05	17,04	46,08	153,32	71,86	41,74	266,92
17:05-17:10	17,12	47,33	151,18	70,22	39,66	261,06
17:10-17:15	17,20	48,60	148,93	68,51	37,53	254,98
17:15-17:20	17,29	49,88	146,57	66,75	35,36	248,69
17:20-17:25	17,37	51,19	144,11	64,93	33,13	242,18
17:25-17:30	17,45	52,51	141,53	63,05	30,86	235,45
17:30-17:35	17,54	53,91	138,73	61,03	28,44	228,21
17:35-17:40	17,63	55,26	135,93	59,04	26,08	221,04
17:40-17:45	17,71	56,63	133,02	56,98	23,67	213,67

17:45-17:50	17,79	58,02	130,00	54,87	21,22	206,10
17:50-17:55	17,87	59,42	126,87	52,71	18,74	198,32
17:55-18:00	17,96	60,83	123,64	50,49	16,22	190,35
TOTAL			***18116,99***	***9236,99***	***6676,58***	***34030,56***
			53,24%	***27,14%***	***19,62%***	***100,00%***

Características del motor eléctrico

Motor brushless 500 W 36 V						
V	**I**	**Pe**	**T**	**n**	**Ps**	**Eficiencia**
(V)	**(A)**	**(W)**	**(Nm)**	**(rpm)**	**(W)**	**(%)**
36,11	1,521	54,93	0,28	343,5	10,07	18,3
36,11	1,504	54,32	0,28	343	10,05	18,5
36,11	1,534	55,4	0,36	343	12,92	23,3
36,1	1,706	61,6	0,44	342,4	15,77	25,6
36,1	1,864	67,3	0,61	341,7	21,82	32,4
36,1	1,935	69,89	0,86	340,9	30,69	43,9
36,09	2,27	81,94	1,21	339	42,94	52,4
36,09	2,532	91,38	1,44	338,2	50,98	57,7
36,06	3,314	119,5	2,02	335,1	70,85	59,2
36,09	3,829	138,8	2,54	333,5	88,69	64,2
36,04	4,231	152,5	3,29	329,4	113,4	74,3
36,01	5,016	180,6	3,89	326,6	133	73,6
36	5,731	206,3	4,87	321,9	164,1	79,5
35,97	6,746	242,6	5,69	318,2	189,5	78,1
35,94	7,715	277,3	6,88	312,6	225,1	81,1
35,92	8,87	318,6	7,83	308,7	253	79,4
35,9	10,16	364,8	8,78	304,8	280,1	76,7
35,9	10,92	392,4	10,24	298,3	319,8	81,4
35,88	12,84	346,4	11,28	294,2	347,4	77,8
35,87	13,42	481,6	12,8	287,7	285,5	80,8
35,86	14,64	525	13,89	283,5	412,2	78,5
35,83	15,99	573,1	15,46	276,7	447,8	78,1
35,81	17,11	612,9	16,61	273,1	474,9	77,4
35,78	18,43	659,7	18,24	266,1	508,1	77

Desarrollo de la forma aerodinámica lateral del diseño 2

SERIE NACA 66					
X	Y	Simétrica		Curvado 2,7%	
% Acorde	45%	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	1,71	12,50	42,69	12,50	44,05
0,75	2,05	18,75	51,36	18,75	53,39
1,25	2,57	31,25	64,18	31,25	67,55
2,50	3,41	62,50	85,28	62,50	91,92
5,00	4,70	125,00	117,39	125,00	130,35
7,50	5,71	187,50	142,65	187,50	161,57
10,00	6,56	250,00	164,08	250,00	188,63
15,00	7,94	375,00	198,56	375,00	233,34
20,00	9,00	500,00	225,06	500,00	268,69
25,00	9,82	625,00	245,42	625,00	296,56
30,00	10,43	750,00	260,78	750,00	318,05
35,00	10,85	875,00	271,29	875,00	333,34
40,00	11,14	1000,00	278,61	1000,00	344,06
45,00	11,25	1125,00	281,25	1125,00	348,75
50,00	11,18	1250,00	279,62	1250,00	347,80
55,00	10,95	1375,00	273,66	1375,00	341,16
60,00	10,50	1500,00	262,41	1500,00	327,86
65,00	9,68	1625,00	241,99	1625,00	304,03
70,00	8,52	1750,00	213,02	1750,00	270,29
75,00	7,15	1875,00	178,65	1875,00	229,79
80,00	5,61	2000,00	140,29	2000,00	183,92
85,00	3,99	2125,00	99,73	2125,00	134,50
90,00	2,37	2250,00	59,29	2250,00	83,83
95,00	0,92	2375,00	22,95	2375,00	35,90
100,00	0,00	2500,00	0,00	2500,00	0,00
95,00	-0,92	2375,00	-22,95	2375,00	-10,00
90,00	-2,37	2250,00	-59,29	2250,00	-34,74
85,00	-3,99	2125,00	-99,73	2125,00	-64,96
80,00	-5,61	2000,00	-140,29	2000,00	-96,65
75,00	-7,15	1875,00	-178,65	1875,00	-127,51
70,00	-8,52	1750,00	-213,02	1750,00	-155,75
65,00	-9,68	1625,00	-241,99	1625,00	-179,94
60,00	-10,50	1500,00	-262,41	1500,00	-196,95
55,00	-10,95	1375,00	-273,66	1375,00	-206,16
50,00	-11,18	1250,00	-279,62	1250,00	-211,44
45,00	-11,25	1125,00	-281,25	1125,00	-213,75
40,00	-11,14	1000,00	-278,61	1000,00	-213,15
35,00	-10,87	875,00	-271,80	875,00	-209,75
30,00	-10,43	750,00	-260,78	750,00	-203,50
25,00	-9,82	625,00	-245,42	625,00	-194,28
20,00	-9,00	500,00	-225,06	500,00	-181,42

15,00	-7,94	375,00	-198,56	375,00	-163,79
10,00	-6,56	250,00	-164,08	250,00	-139,54
7,50	-5,71	187,50	-142,65	187,50	-123,73
5,00	-4,70	125,00	-117,39	125,00	-104,44
2,50	-3,41	62,50	-85,28	62,50	-78,63
1,25	-2,57	31,25	-64,18	31,25	-60,81
0,75	-2,05	18,75	-51,36	18,75	-49,33
0,50	-1,71	12,50	-42,69	12,50	-41,34
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

APÉNDICE II

DIAGRAMAS

Diagrama electrico vehìculo solar

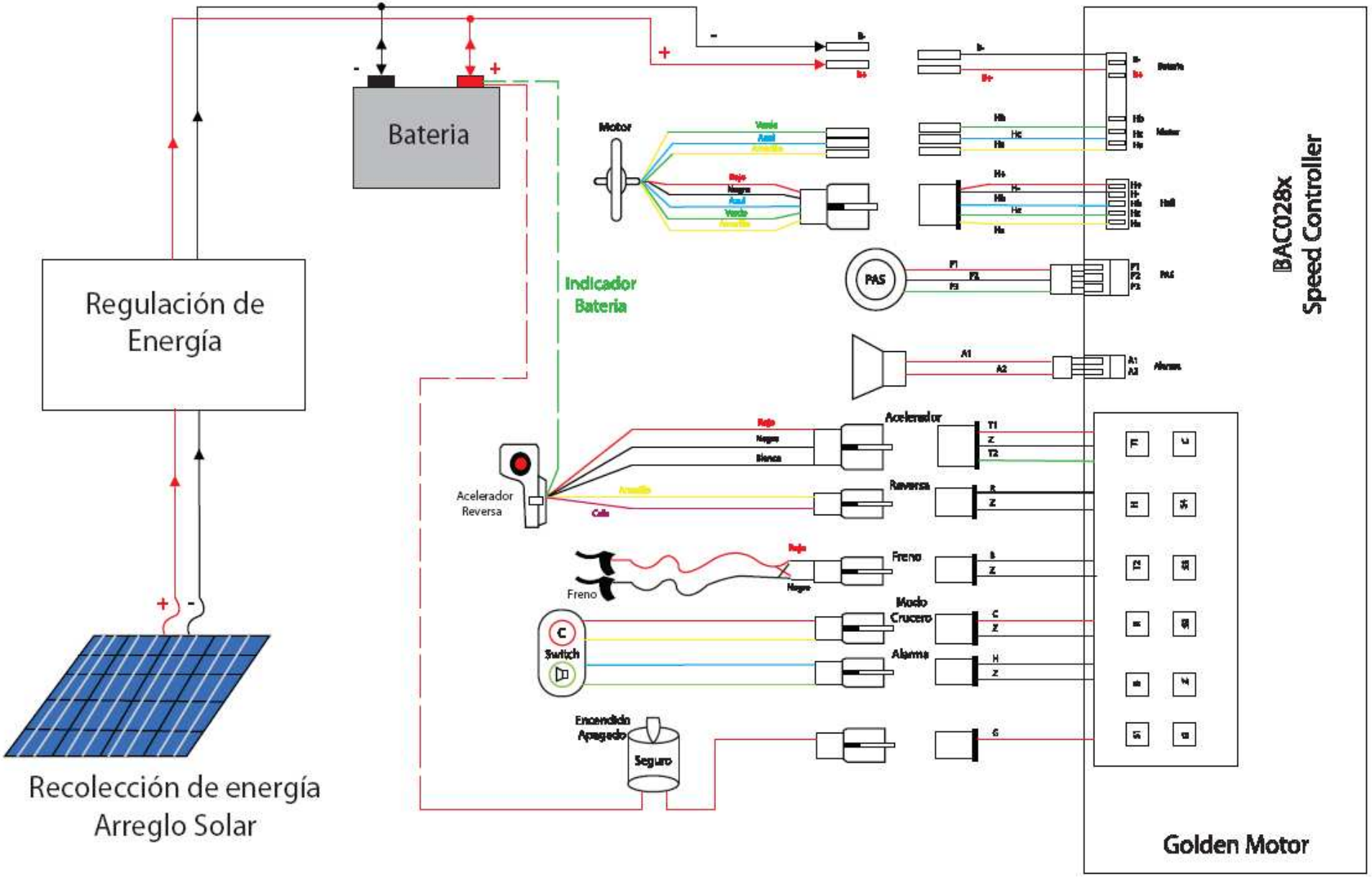
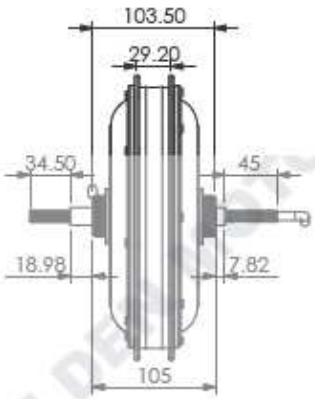
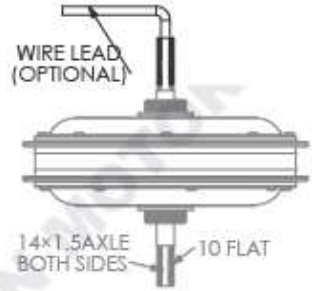
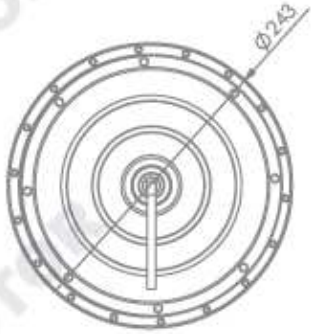


Diagrama del motor

MOTOR	Motor Type:	VDC,Brushless,5poke
	Max.Efficiency Voltage:	48 VDC
	Continuous Duty Watts:	1000W @48 VDC
	Continuous Duty Amps:	15A @48 VDC
	Motor Leads:	Standard:1100mm (OPTIONAL)





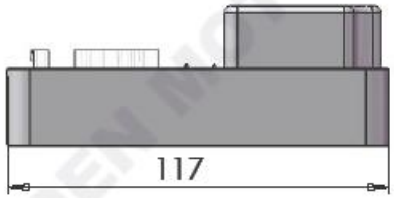


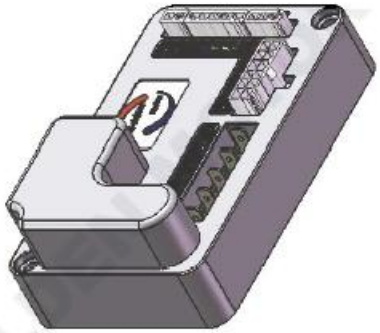
NOTE:
1.ALL DIMENSIONS NOT SHOWN ARE THAT THE MANUFACTURES DISCRETION.
2.ANY CHANGES MADE IN MATERIAL OR DIMENSIONS MUST BE APPROVED BY GOLDENMOTOR.

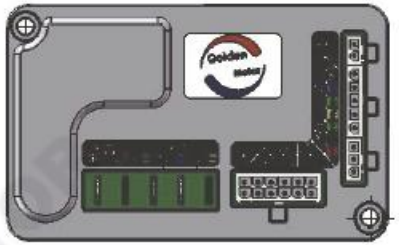
REL#:	BY: TOM	DATE: 30/09/08
GOLDEN MOTOR CHANGZHOU,JIANGSU P.R.CHINA 213000		
SCALE: NONE	USED ON:	DRWN BY: TOM
SHEET: 1 OF 1	ELECTRIC BICYCLE	CHKD BY: TOM
TITLE: 48V/1000W REAL WHEEL MOTOR		
MATRL:	PART NO.:	

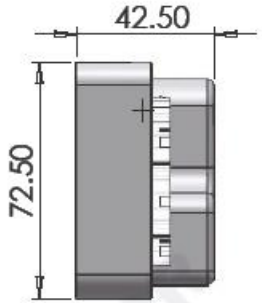
Diagrama del controlador

BAC-028X	Full Name	Abbreviation				
	Alarm	A1	A2			
	Brake	B				
	Cruise	C				
	Gate	G				
	Hall	H+	H-	Ha	Hb	Hc
	Horn	H				
	Reverse	R				
	Spare	S1	S2	S3	S4	
	Throttle	T1	T2			
	Zero	Z				









REL#:	BY: TOM	DATE: 30/12/08
USED ON: ELECTRIC BICYCLE		
SCALE: NONE	GOLDEN MOTOR	DRWN BY: TOM
SHEET: 1 OF 1		CHKD BY: TOM
TITLE: BAC-028X		
MATRL:		PART NO.:

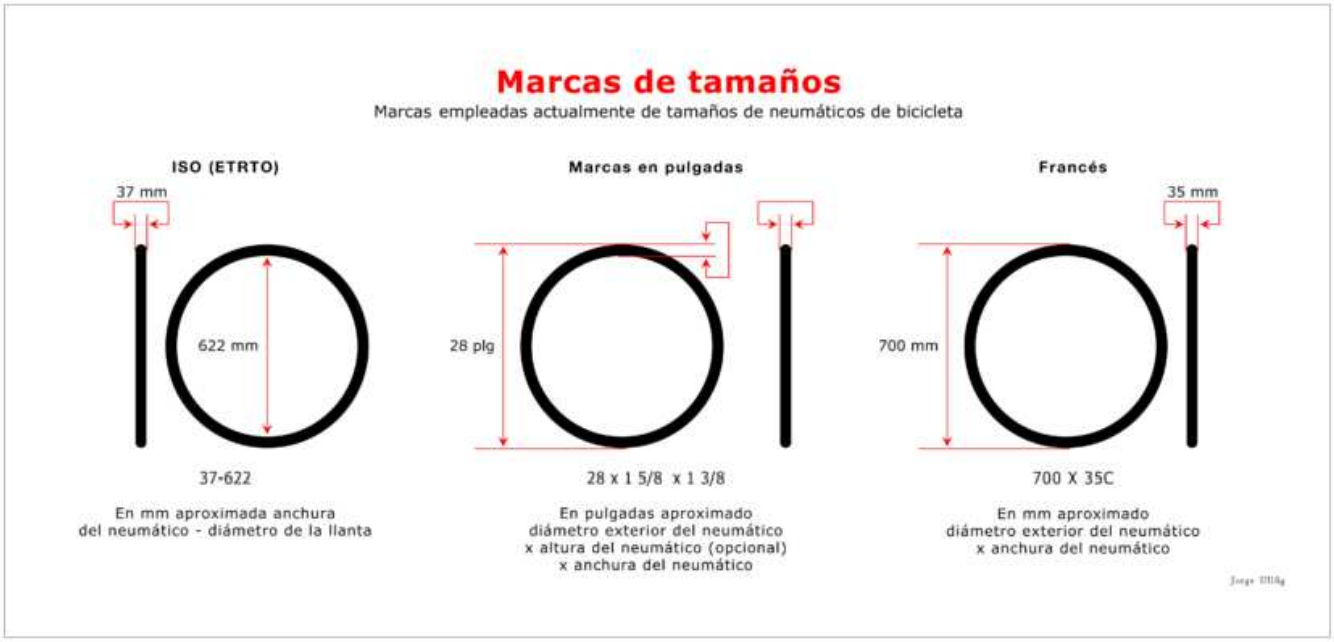
GOLDEN MOTOR

APÉNDICE III

NORMAS

ISO 5775

ISO 5775 es una norma internacional para marcar los neumáticos (cubiertas) y las llantas de bicicleta. El sistema se desarrolló originalmente en la Organización Técnica Europea de Neumáticos y Llantas (ETRTO).



Neumáticos (Cubiertas)

Neumáticos de aro semirígido

Sección nominal ancho de rueda	Anchura de llanta recomendada	
	Llanta de pared recta	Llanta de tipo Crotchet
16	-	13C
18	-	13C
20	-	13C
23	16	13C, 15C
25	16, 18	13C, 15C, 17C
28	16, 18, 20	15C, 17C, 19C
32	16, 18, 20	15C, 17C, 19C
35	18, 20, 22	17C, 19C, 21C
37	18, 20, 22	17C, 19C, 21C
40	20, 22, 24	19C, 21C, 23C
44	20, 22, 24, 27	19C, 21C, 23C, 25C
47	20, 22, 24, 27	19C, 21C, 23C, 25C
50	22, 24, 27, 30.5	21C, 23C, 25C
54	27, 30.5	25C
57	27, 30.5	25C

62	27, 30.5	-

En la siguiente tabla se detallan las equivalencias entre las denominaciones antiguas y las de la norma ISO 5775:

Denominación actual	**Marcado antiguo (en pulgadas o dando el diámetro exterior en mm)**	
28-590	26 × 1⅜ × 1⅛	
28-622	28 × 1⅝ × 1⅛	700 × 28C
	28 × 1⅝ × 1¼ × 1⅛	700 C Carrera
28-630	27 × 1¼ fifty	
28-635	28 × 1½	700 B
28-642	28 × 1⅜ × 1⅛	700 × 28 A
32-239	12 × 1⅜ × 1¼	300 × 32
32-248	12 × 1¼	300 × 32 A
32-288	14 × 1⅜ × 1¼	350 × 32
32-298	14 × 1¼	350 × 32 A
32-340	16 × 1⅜ × 1¼	400 A
		400 × 32
32-349	16 × 1¼ NL	400 × 32 A
32-357	17 × 1¼	
32-369	16 × 1¼	
32-390	18 × 1⅜ × 1¼	450 A
		450 × 32
32-400	18 × 1¼	450 × 32A
32-438	500 × 32 ANL	
32-440	20 × 1⅜ × 1¼	500 A
		500 × 32
32-451	20 × 1¼	500 × 32 A
32-489	550 × 32 ANL	
32-490	22 × 1⅜ × 1¼	550 A
		550 × 32
32-501	22 × 1¼	550 × 32 A
32-508	22 × 1¼ × 1	
32-540	24-1⅜ × 1¼	
32-541	24 × 1⅜ × 1¼ NL	600 A
		600 × 32 A
32-547	24 × 1¼	
32-590	26 × 1⅜ 1¼	650 × 32A
32-597	26 × 1¼	
32-622	28 × 1⅝ × 1¼	700 × 32C
	28 × 1¼ × 1¾	700 × C Course

Llantas

La norma ISO 5775-2 define los códigos de las llantas, y distingue entre:

- LLantas de pared recta (SS)
- Llantas de tipo Crotchet (C)
- Llantas Hooked-bead (HB)

Las llantas se designan por su *diámetro nominal* y su *anchura nominal* separados por un aspa (×). Ambas se miden en milímetros. Las llantas de tipo SS o HB llevan estas siglas delante del nombre mientras que las de tipo C la llevan al final. Ejemplos:

> SS 400×20, HB 422×25, 620×13C

La anchura nominal de una llanta es la anchura interior tal y como se mide con un calibre.

La anchuras estadarizadas pora las de pared recta (SS) son:

> 18, 20, 22, 24, 27, 30.5

para las de tipo crotchet (C):

> 13C, 15C, 16C, 17C, 19C, 21C, 23C, 25C

Y para las de hooked-bead (HB):

> 20, 25, 27

Los diámetros estandarizados para las llantas de tipo SS y C son:

> 194, 203, 222, 239, 248, 251, 279, 288, 298, 305, 317, 330, 337, 340, 349, 355, 357, 369, 381, 387, 390, 400, 406, 419, 428, 432, 438, 440, 451, 484, 489, 490, 498, 501, 507, 520, 531, 534, 540, 541, 547, 559, 565, 571, 584, 590, 597, 609, 622, 630, 635, 642

Los diámetros estadarizados para las llantas HB son:

> 270, 321, 372, 422, 459, 473, 510, 524, 560, 575, 611

SNELL K98

Esta norma identifica cascos adecuados para los ciclomotores, bicicletas motorizadas y vehículos similares de potencia baja, es una norma requerida para las motocicletas y necesaria para bicicletas. Estos cascos no pueden ser apropiados para el uso de motocicletas, motos de nieve y vehículos todo terreno. Puede no ser apropiado para su uso en competición, en las carreteras o en las jurisdicciones donde las autoridades han determinado que se debe utilizar más protección para la cabeza. En concreto, si su vehículo de poca potencia se encuentra en el tráfico de la carretera, o si las autoridades locales requieren el uso de un casco certificado para el uso de las mismas, en esos casos, se recomienda cascos certificados a los estándares de casco de motocicleta.

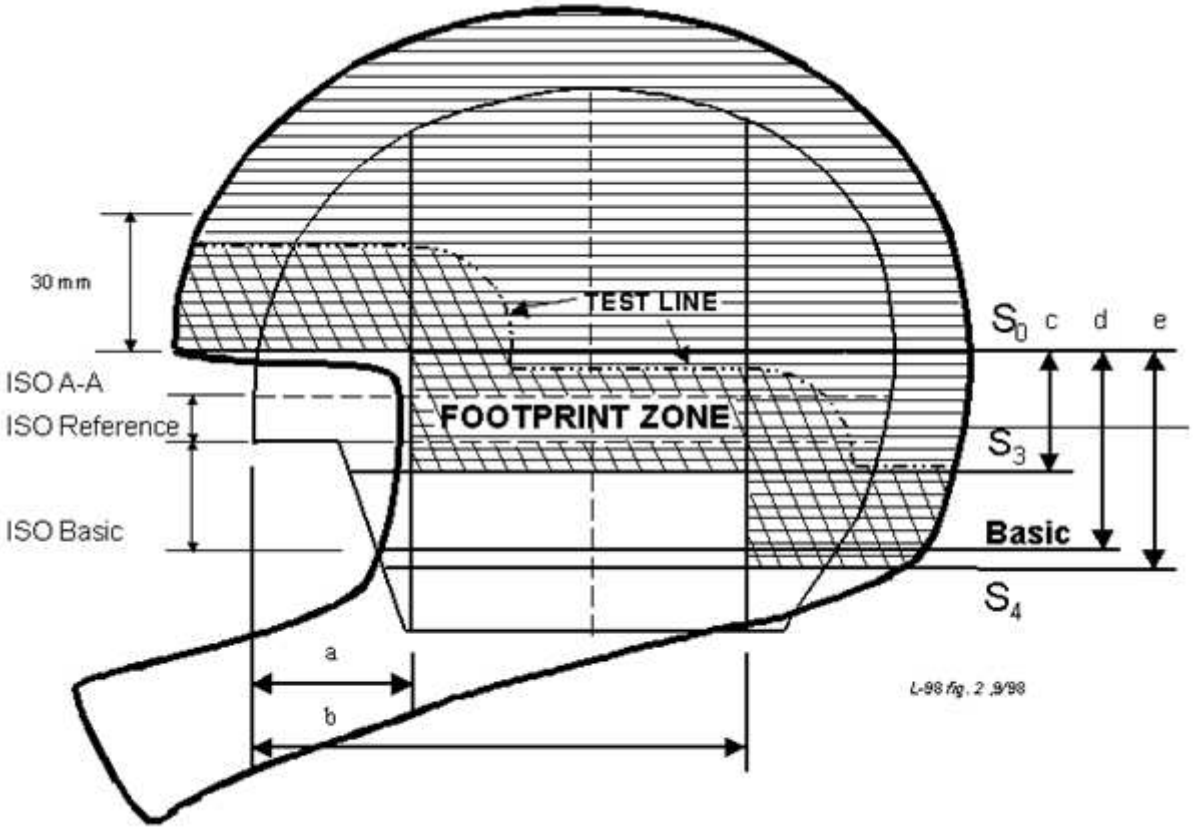
Razones de utilizar este estándar:

- Incluso el uso de vehículos de baja potencia impone riesgos de muerte o discapacidad permanente debido a lesiones en la cabeza.
- El uso adecuado de los cascos de protección puede minimizar el riesgo de muerte o incapacidad permanente.
- La capacidad protectora de un casco es difícil de medir, sobre todo en el momento de la compra o uso.
- La certificación Snell está respaldada por las pruebas en curso, una muestra aleatoria identifica a los modelos de casco y mantiene los más altos niveles de protección para la cabeza.

Esta norma supera las normas SNELL 95 dictaminadas por la organización de la carrera.

El riesgo de accidente disminuyó debido a que el vehículo se encontraba siempre en el medio de los dos vehículos de apoyo, y también estuvo acompañado por la caravana de policías y ambulancias.

A continuación mostramos en detalle el casco de norma Snell K98



Headform	a	b	c	d	e
ISO A	39.0	128.6	26.1	46.8	52.2
ISO E	42.2	139.0	28.2	50.0	56.4
ISO J	45.2	148.4	30.0	53.0	60.0
ISO M	47.4	155.8	31.5	55.2	63.0
ISO O	49.2	161.5	32.2	57.2	64.5

APÉNDICE IV

CATÁLOGOS

Características de los perfiles de aluminio Cedal

"Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. CEDAL, garantiza sus productos conforme a la norma NTE INEN 2250:2000. Además garantiza sus productos al 100% contra defectos de fabricación".

Aleación

CEDAL utiliza la aleación 6063 para perfilería arquitectónica y 6005 para perfilería estructural. CEDAL cumple con las composiciones químicas conforme a la norma NTE INEN 2250:2000.

Espesor

La perfilería de aluminio de CEDAL cumple con los siguientes requisitos dimensionales con una tolerancia dimensional de +/- 10% (NTE INEN 2250:2000).

Uso Estructural

- El espesor mínimo para perfiles sólidos 1.3mm.
- El espesor mínimo para perfiles tubulares 1.4mm.

Uso Arquitectónico

- El espesor mínimo para perfiles sólidos 1.0mm.
- El espesor mínimo para perfiles tubulares 1.1mm.

Temple

- CEDAL garantiza para perfiles con tratamiento térmico (envejecimiento artificial) los respectivos temples, para perfiles arquitectónicos T5 (dureza de 10 a 12 grados webster) y para perfiles estructurales T6 (dureza de 12 a 14 grados webster) conforme a la norma NTE INEN 2250:2000.

Anodizado (acabado superficial)

CEDAL garantiza un espesor mínimo de 10 micras de la capa anódica conforme lo establece la norma NTE INEN 2250:2000.

CEDAL garantiza la uniformidad de tonalidades en los acabados de anodizado a través de la utilización de un Espectrofotómetro, la implementación de respectivos procedimientos y definición de rangos de tolerancia.

Pintura Electrostática

CEDAL garantiza los perfiles de aluminio pintados con pintura electrostática bajo las siguientes normas:

- **ASTM D1400** - El espesor de la capa de pintura electrostática debe estar entre 50 a 70 micras.
- **ASTM D3359** - Garantiza su total adherencia.
- **ASTM D3363** - Dureza 2H.
- Uniformidad de color en todo el perfil.
- Estabilidad del color, garantía de 5 años en ambiente urbano.

El aluminio, cuyo símbolo es (Al) es el metal más abundante de la corteza terrestre pero no se lo puede encontrar en la naturaleza en estado puro, sino integrado con otros elementos dentro de un mineral denominado Bauxita. Para extraer el aluminio de la Bauxita se aplica un proceso electrolítico que se desarrolló en Francia en el año 1886.

El aluminio se funde a 660 grados centígrados, su peso específico es de 2.71 Kg/dm3, lo que le hace aproximadamente tres veces más liviano que el acero (7.85 Kg/ dm3), el cobre (8.90 Kg/dm3) y el zinc (7.2 Kg/dm3), y alrededor de cuatro veces más liviano que el plomo (11.4 Kg/ dm3). Tiene un atractivo aspecto gris plateado y es resistente, ligero, maleable, antimagnético, es un buen conductor de electricidad y de calor, reciclable, no se corroe, no produce chispas y es fácil de trabajar.

En la industria de la construcción su utilización es sumamente amplia en productos tales como estructuras, ventanas, puertas, mamparas, revestimientos, entre otros. La industria del transporte es otro de los mercados importantes para la aplicación del aluminio. Aviones comerciales y militares se construyen prácticamente en su totalidad de este metal; en automóviles, camiones y trenes se utiliza en sus estructuras, carrocerías, motores, transmisiones, suspensiones e interiores.

El aluminio por ser un metal noble, altamente maleable y resistente, se emplea cada vez más en múltiples aplicaciones industriales, navales, militares, de turismo e inclusive, al no ser tóxico, en empaques de medicinas, alimentos y bebidas.

El proceso de producción de CEDAL para la elaboración de perfilería de aluminio se realiza bajo estrictas normas nacionales e internacionales de operación, calidad y seguridad, tales como: ISO 9001:2000, ASTM B-221, normas de la AEC (American Extrusión Council), INEN 2250:2000, INEN 1001, entre otras.

CEDAL cumple con los siguientes procesos:

1. Fundición

El aluminio recuperado de los procesos de extrusión, anodizado y empaque es re-fundido, garantizando su composición y características de aleación mediante estrictos controles metalúrgicos para posteriormente ser utilizado en el proceso de extrusión.

2. Materia Prima

La materia prima para la fabricación de perfiles de aluminio proviene de la importación de lingotes de aleación de aluminio 6063, 6061, 6005. Parte de la materia prima de aleación 6063 proviene del proceso de fundición que procesa material propio de la planta industrial como de aluminio primario de alta calidad.

Aplicación de las Aleaciones

CEDAL emplea aleaciones de aluminio normadas por regulaciones internacionales como son:

Aleación 6063: utilizada para aplicaciones arquitectónicas y decorativas tales como ventanas, puertas, muros cortinas, mamparas, marquetería, ángulos, revestimientos etc.
Aleación 6061 y 6005: utilizadas para aplicaciones estructurales tales como estructuras espaciales, cuerdas, vigas, escaleras, malayos, etc.

CEDAL recomienda a sus clientes la utilización de aleaciones de aluminio en función de sus necesidades cumpliendo con las normas internacionales aplicables para cada caso.

3. Extrusión

La extrusión es una deformación plástica en caliente (480° ~ 550°C) en donde un bloque de metal es forzado por compresión a través de la abertura de un molde (matriz), extruyendo una pieza larga de sección recta constante denominada “perfil”, que adoptará la forma dada por la matriz. La sección transversal del perfil extruído puede ser sólida o hueca y puede variar de una simple forma circular hasta complejas formas geométricas.

Tipo de perfiles de aluminio

Perfil sólido

Es el producto extruído, cuya sección transversal es sólida y constante en toda su longitud, la misma que puede tener varias formas:

Perfil Hueco

Es el producto extruído, con un solo hueco cerrado, de sección transversal constante en toda su longitud, que puede tener varias formas.

Temple

Es un proceso de endurecimiento de la aleación de aluminio del perfil extruído a través de un envejecimiento artificial realizado en un horno, donde se somete al metal a altas temperaturas por períodos prolongados de tiempo. El envejecimiento se lo ejecuta luego del proceso de estirado y corte del perfil (extrusión). Los temples utilizados por CEDAL son:

- T0 (sin temple)
- T5 para aleación arquitectónica 6063 y para aleación estructural 6061 o 6005.
- T6 para aleación arquitectónica 6063 y para aleación estructural 6061 o 6005.

Acabado de los Perfiles

CEDAL ofrece al mercado perfiles en los siguientes acabados:

- Crudo o Mill Finish (sin acabado)
- Anodizado (natural, bronces, dorado, negro, champagne)
- Pintura Electrostática (variedad de colores)

4. Anodizado

Es un proceso electroquímico por el cual se forma sobre la superficie del perfil un recubrimiento de óxido de aluminio, al mismo que se le puede impartir varias tonalidades cromáticas (natural, bronce, dorado, etc.) empleando distintos parámetros de corriente, pH de las soluciones químicas, tiempo y sales minerales.

5. Pintura Electrostática

Es un proceso de acabado superficial que protege a los perfiles de aluminio con una capa de pintura en polvo depositada electro-estáticamente y que luego es fundida y curada en un horno.

El proceso de pintura consiste en crear un campo electromagnético en donde cada partícula de pintura se carga negativamente y se adhieren a los perfiles con carga positiva, cubriendo la superficie de manera uniforme.

El proceso se completa al pasar el perfil por el horno de polimerizado donde se funden las partículas de pintura uniéndose unas con otras formando una sola película uniforme en espesor.

El espesor de la capa de pintura está entre 60 y 80 micras.

6. Empaque

CEDAL empaca todos sus productos (perfiles de aluminio) en fundas de polietileno, con el fin de evitar que las piezas tengan defectos (marcas de tráfico o marcas de fricción) durante el transporte.

7. Productos

CEDAL principalmente fabrica y comercializa perfilería de aluminio para el uso arquitectónico y estructural cuyos diseños son producidos para satisfacer las necesidades de sus clientes y el mercado de carpintería de aluminio. La perfilería producida es sometida a un control de calidad y tolerancias dimensionales para asegurar su correcto uso y propiedades del metal.

La perfilería de aluminio CEDAL se puede encontrar en los siguientes acabados:

- Mill Finish (01)

Anodizados

- Natural (02)
- Bronce claro (03)
- Bronce medio (04)
- Bronce oscuro (05)
- Negro (06)
- Champagne claro (09)
- Champagne oscuro(10)
- Dorado claro (11)
- Dorado medio (12)

Pintura Electrostática

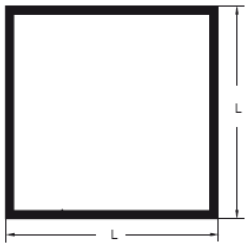
- Blanco (20)
- Variedad de colores en pintura electrostática.

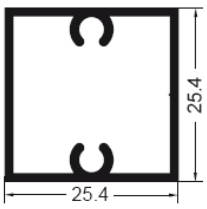
Composición química de las aleaciones utilizadas

No. Aleación	Si	Fe	Mg	Mn	Cu	Cr	Zn	Ti	Varios	Al (min)
6063	0.20 - 0.60	0.35	0.45 - 0.90	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	restante
6061	0.40 - 0.80	0.70	0.80 - 1.20	0.15	0.15 - 0.40	0.04 - 0.35	0.25	0.15	0.15	restante
6005	0.60 - 0.90	0.35	0.40 - 0.60	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	restante

Aleación A.A.	Espesor pulgadas	Dureza (HWB) mín.	Webster B normal	Resist. a Fluencia (Kg /mm²) mínimo	Resist. a Fluencia (Kg /mm²) normal	Rest. a tensión (Kg /mm²) mínimo	Rest. a tensión (Kg /mm²) normal	Elongación (% en 5 cm)
6063-T1	Todos	4	6	5.6	8.5	11.2	16	14
T4 T5%(1) T5 T6	<0.5"	5	7	6.2	8.8	12.9	16.7	14
	<0.5"o más	4	6	6	8.5	12.5	16.1	14
	Todos	7	8	9.5	12.3	13.9	17.6	12
	<0.5"	8	10	11.2	16.2	15.5	19.7	8
	<0.5"o más	7	9	10.7	14.4	14.8	18.6	8
	<0.5"	10	13	17.6	21.4	21.1	23.6	8
	<0.5"o más	9	12	17.6	19.3	21	22.5	8
6061-T1	Todos	8	11	11	14.1	18	24	15
T1 T5 T6	Todos	8	11	11.2	14.8	18.3	24.5	14
	Todos	12	14	20.9	26	24.5	30	8
	Todos	14	16	24.5	28.1	26.5	31.6	9
6005-T1	Todos	8	9	8.2	13	16.3	23	15
T4 T5 T6	Todos	9	10	10.5	14	17.5	24	15
	Todos	10	12	24	27.5	26	29.5	8
	Todos	14	14	24.5	28.5	26.5	30	8
6351-T1	Todos	9	10	9.5	16	18.3	20	16
T4 T5 T6	Todos	9	11	13.3	16.5	22.4	25	16
	Todos	12	14	24.5	30	26.5	31.7	10
	Todos	15	16	26	30.2	29.6	34.4	10

Tubos cuadrados





1855
Peso: 0.412 kg/m
e=1.30

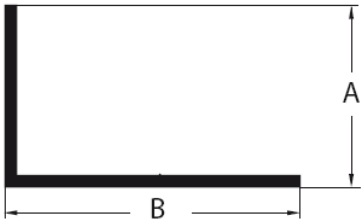
Referencia	Lado		Espesor	Peso
	Milímetros	Pulgadas	mm	kg/m
1014	44.45	1 3/4	1.90	0.875
1015	50.80	2	2.00	1.058
1286	25.40	1	1.80	0.461
1386	38.10	1 1/2	1.80	0.708
1466	22.20	7/8	1.00	0.231
1583	38.10	1 1/2	1.20	0.480
1714	25.40	1	1.30	0.340
1852	50.80	2	1.40	0.750
1854	31.75	1 1/4	1.10	0.366
1855*	25.40	1	1.30	0.412
1902	101.60	4	3.20	3.395
1903	101.60	4	2.30	2.457
1906	76.20	3	2.00	1.590
1981	17.00	2/3	1.00	0.162
2036	25.40	1	1.10	0.290
2439	19.00	3/4	1.10	0.214
2856	19.00	3/4	1.00	0.195

* Tubo con tornillero

Referencia	Diámetro		Espesor mm	Peso kg/m
	Milímetros	Pulgadas		
1148	9.52	3/8	1.14	0.081
1149	7.92	5/16	1.20	0.070
1157	17.90	67/95	1.07	0.153
1158	23.40	59/64	1.24	0.234
1204	25.40	1	1.90	0.380
1205*	31.75	1 1/4	2.66	0.626
1254	32.00	1 6/23	2.00	0.511
1668	19.10	73/97	1.50	0.225
1721	38.35	1 23/45	1.65	0.516
1722	44.20	1 43/58	1.65	0.598
2150	19.05	3/4	1.10	0.168
2151	15.70	60/97	1.21	0.150
2152	12.70	1/2	1.10	0.109
2185	9.50	3/8	1.10	0.079
2186	7.90	14/45	1.10	0.064

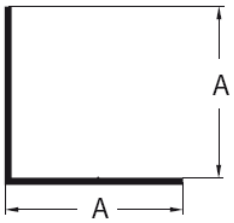
*Tubo acanalado

Ángulos de aletas desiguales



Referencia	Base (B)		Altura(A)		Espesor	Peso
	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	mm	kg/m
1179	42.10	1 56/85	40.00	1 19/33	1.80	0.392
1248	40.00	1 19/33	39.00	1 22/41	2.65	0.548
1280	25.40	1	12.70	1/2	1.40	0.139
1319	100.00	3 47/50	19.00	3/4	3.96 (b) y 3 (a)	1.195
1422	70.00	2 47/62	19.00	3/4	1.20	0.286
1641	50.00	1 32/33	30.00	1 2/11	4.00	0.820

Ángulos de aletas iguales



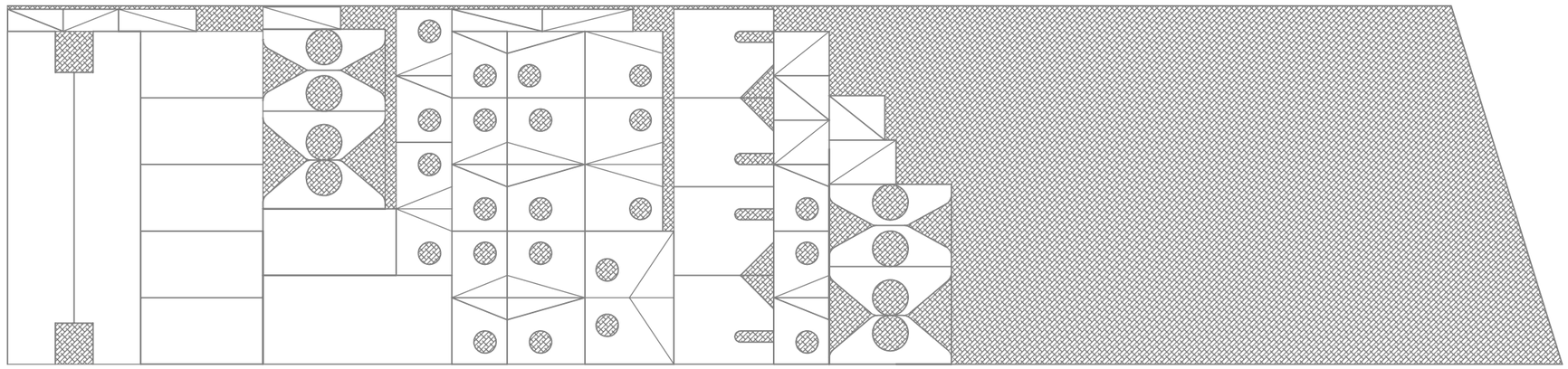
Referencia	Lado (A)		Espesor	Peso
	Milímetros	Pulgadas	mm	kg/m
1003	25.40	1	1.60	0.213
1182	25.40	1	1.02	0.138
1236	19.00	3/4	1.20	0.109
1355	12.70	1/2	1.10	0.072
1444	31.75	1 1/4	3.18	0.520
1449	65.00	2 23/41	6.60	1.875
1640	50.00	1 32/33	4.00	1.037
1993	17.00	2/3	1.00	0.090
2029	38.10	1 1/2	3.00	0.595
2033	31.00	1 2/9	3.00	0.480
2407	11.50	29/64	1.10	0.065

Propiedades del pegamento de las celdas

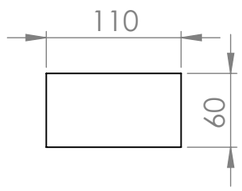
Color	Claro
Constante dieléctrica a 100 Hz	2.65
Constante dieléctrica a 100 KHz	2.65
Potencial Dieléctrico	540 volts per mil
Factor de disuasión a100 Hz	0.0005
Factor de disuasión a100 KHz	< 0.001
Durómetro	50 A
Viscosidad dinámica	3900 Centipoise
Fluible	
Secado	10 Minutos @ 150 °C
Secado	20 Minutos @ 125 °C
Secado	45 Minutes @ 100 °C
Hydrofobico	
Proporción de Mezcla	10:1 Base a Catalizador 87-RC
Temperatura de secado - Horas	48 Horas
Auto nivelante	
Vida útil	720 Days
Gravedad específica @ 25C	1.03
Rango de temperatura	de -45 °C hasta 200 °C
Conductividad térmica	0.16 Watts/mK
UL 94 V-0 @ 8.4 mm espesor	
UL 94 V-1 @ 6.0 mm espesor	
Resistividad Volumen	1.2e+014 ohm-centímetros
Resistencia al agua	
Tiempo de trabajo	> 120 Minutes

APÉNDICE V

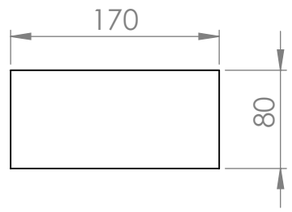
PLANOS



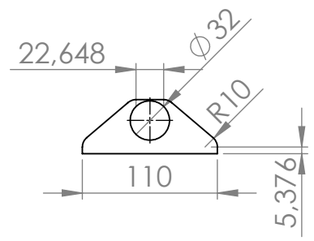
PLACA BASE A (X2)



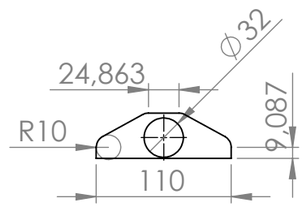
PLACA BASE B (X6)



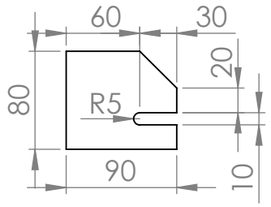
PLACA BASE C (X1)



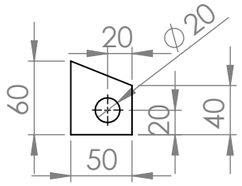
PLACA D1 (X4)



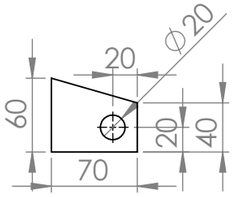
PLACA D2 (X4)



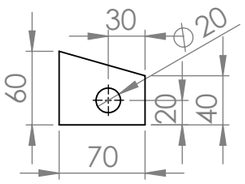
PLACA E (X4)



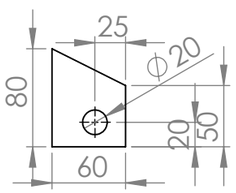
PLACA DE SUJECIÓN A (X12)



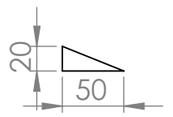
PLACA DE SUJECIÓN B1 (X4)



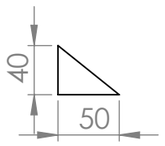
PLACA DE SUJECIÓN B2 (X4)



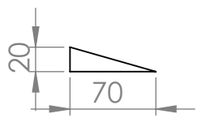
PLACA DE SUJECIÓN C (X2)



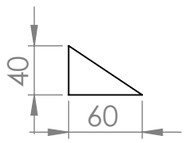
REFUERZO A1 (X16)



REFUERZO A2 (X8)

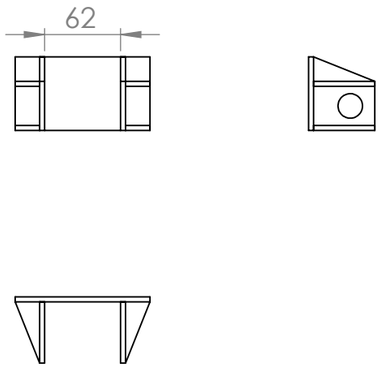


REFUERZO B (X16)

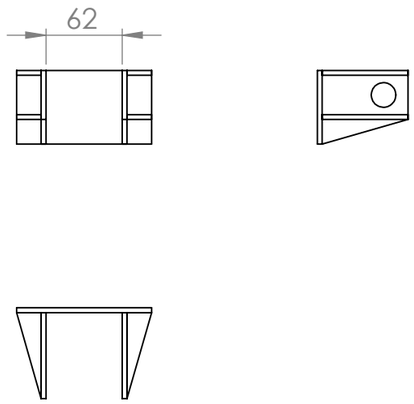


REFUERZO C (X4)

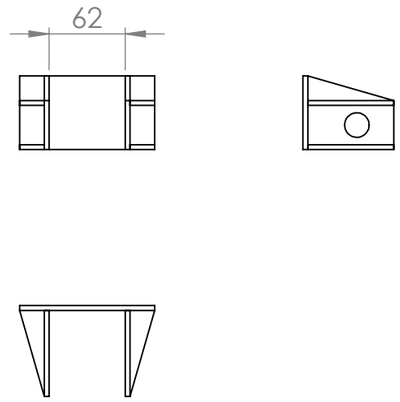
	ESPOL				Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS / INVICTUS 01
						PROYECTO VEHÍCULO SOLAR
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: DETALLE DE CORTES DE LA PLANCHA DE ALUMINIO
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL: ALUMINIO		N.º DE DIBUJO: CORTES 01-A / A3
				PESO: 4.71 Kg		ESCALA:1:1 / PLANO 1



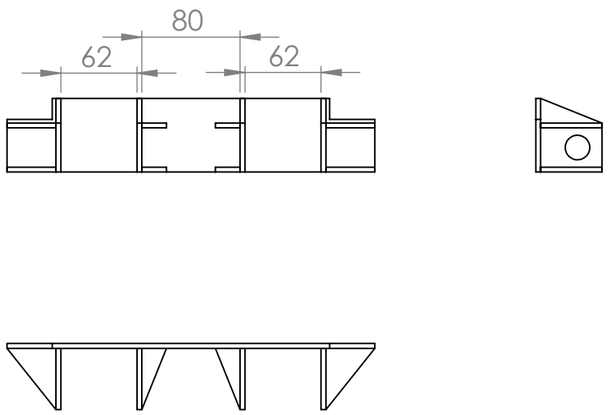
Ménsula del chasis delantera superior (X2)



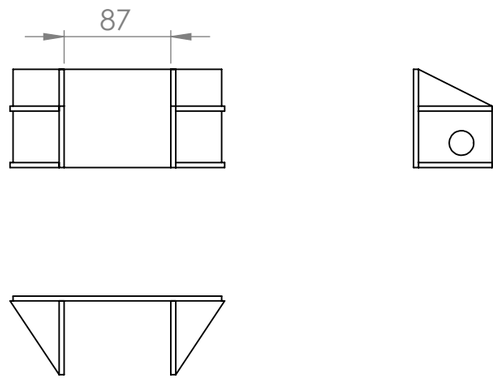
Ménsula del brazo vertical superior (X2)



Ménsula del brazo vertical inferior (X2)

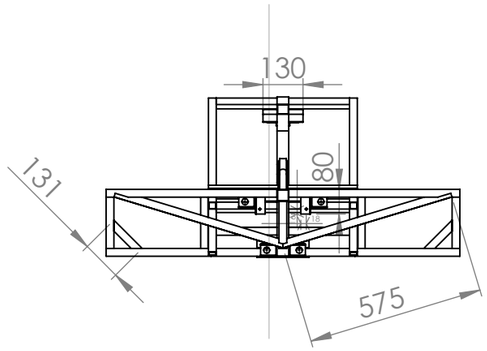


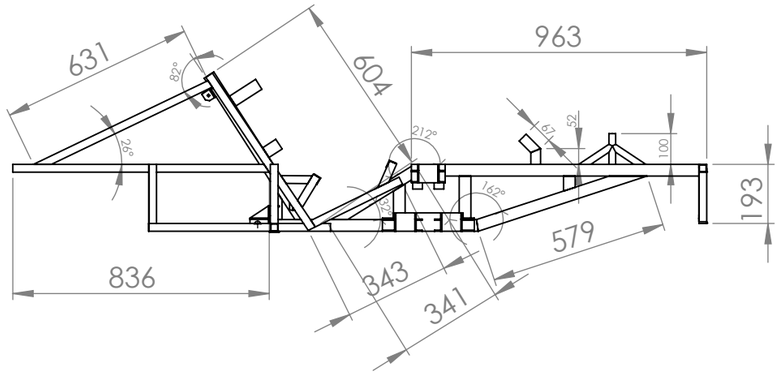
Ménsula del chasis delantera inferior (X2)

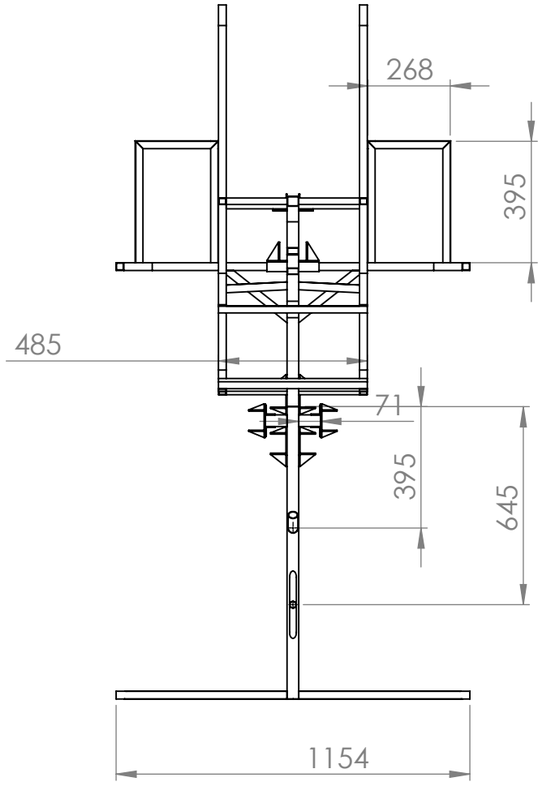


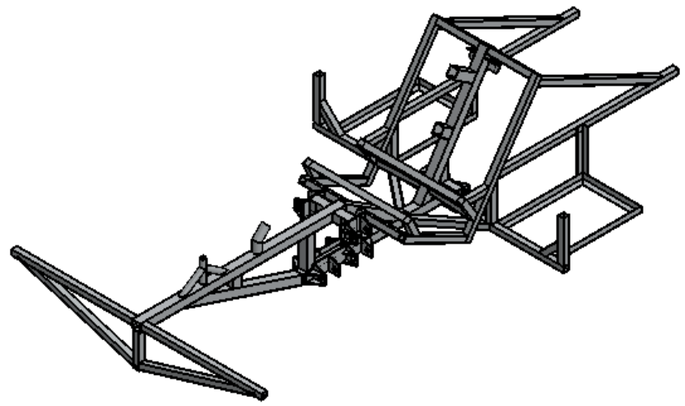
Ménsula del chasis posterior (X1)

ESPOL					Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS	INVICTUS 01
						PROYECTO VEHÍCULO SOLAR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: MÉNSULAS	
DIBUJ.							
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL: ALUMINIO		N.° DE DIBUJO ENSANBLE 01-A	A3
						ESCALA:1:1	PLANO 2

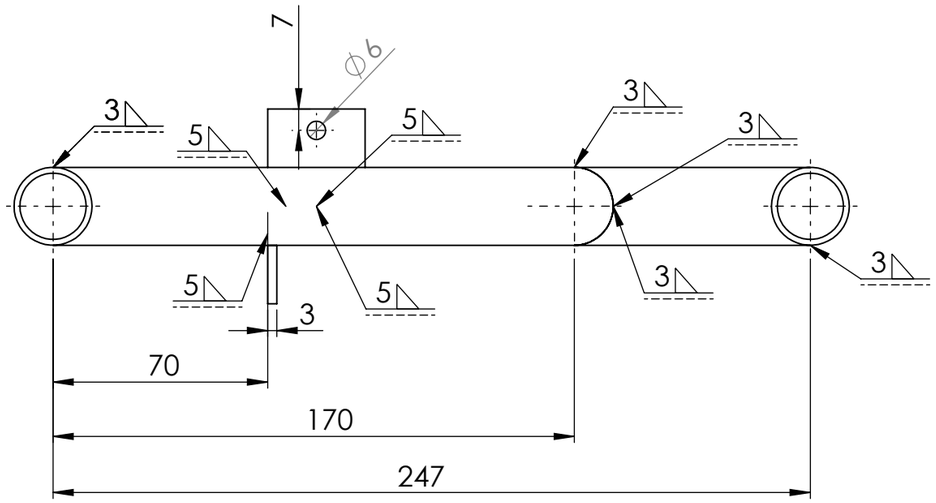


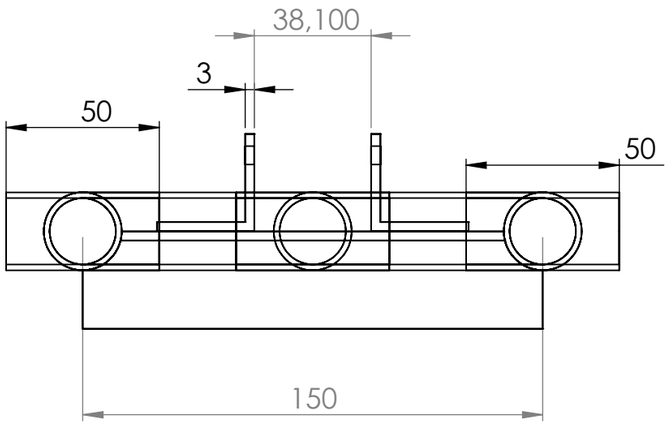


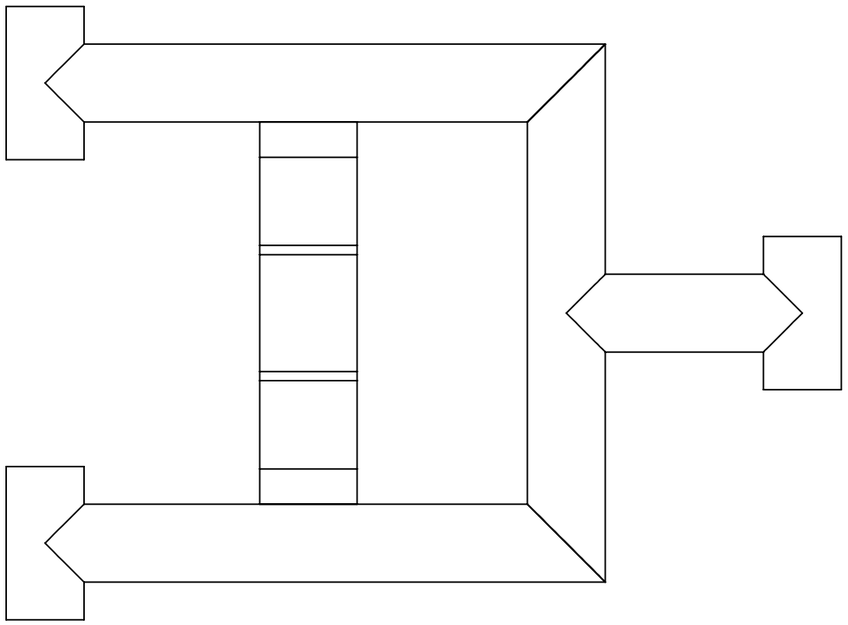




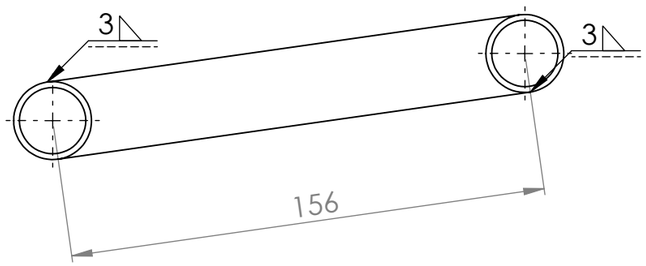
	ESPOL					Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS / INVICTUS 01
							PROYECTO VEHÍCULO SOLAR
	NOMBRE	FIRMA	FECHA				TÍTULO: CHASIS
DIBUJ.							
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL: ALUMINIO			N.° DE DIBUJO: COMPONENTE 01-A / A3
							ESCALA:1:50 / PLANO 3





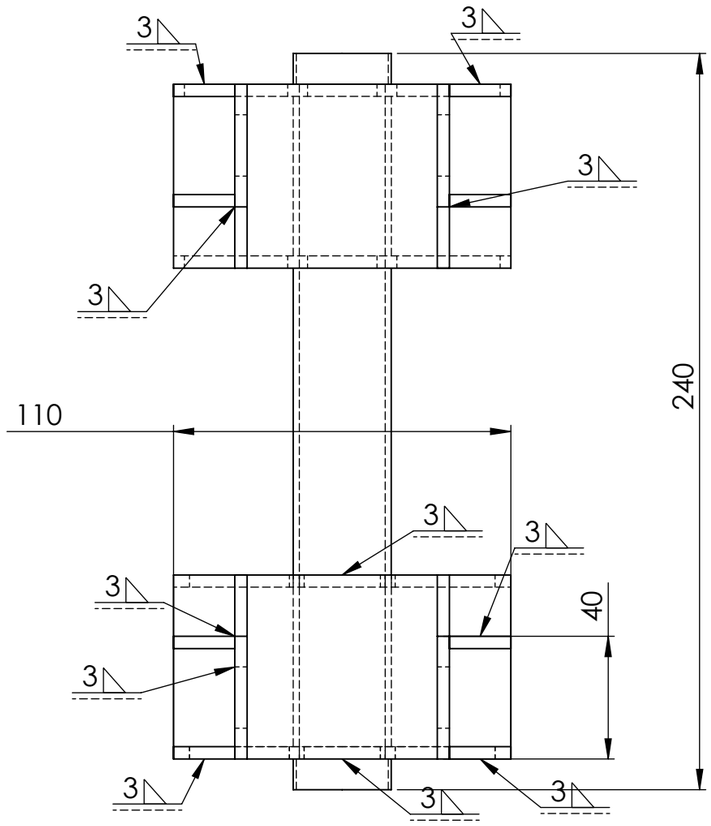


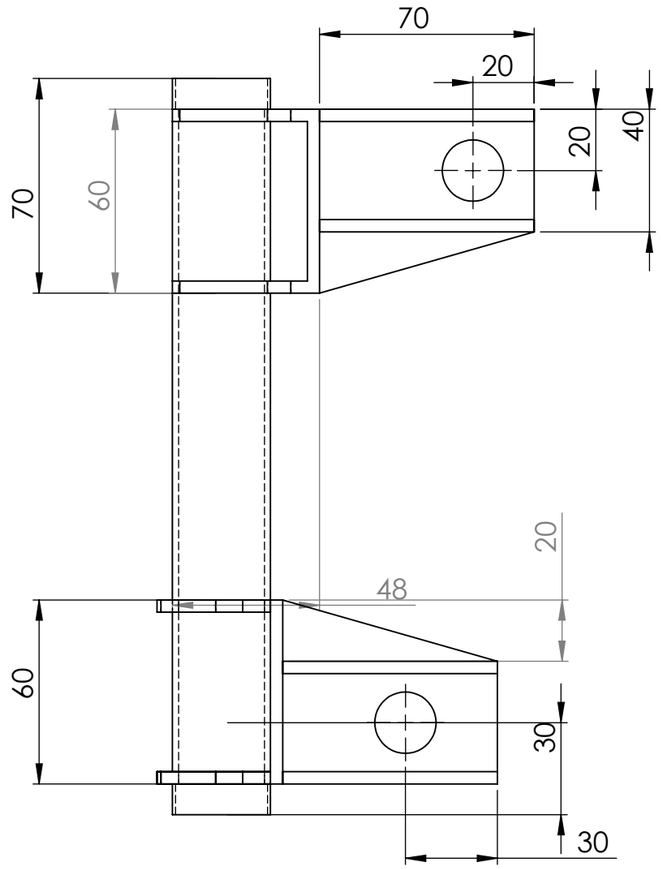
BRAZO INFERIOR

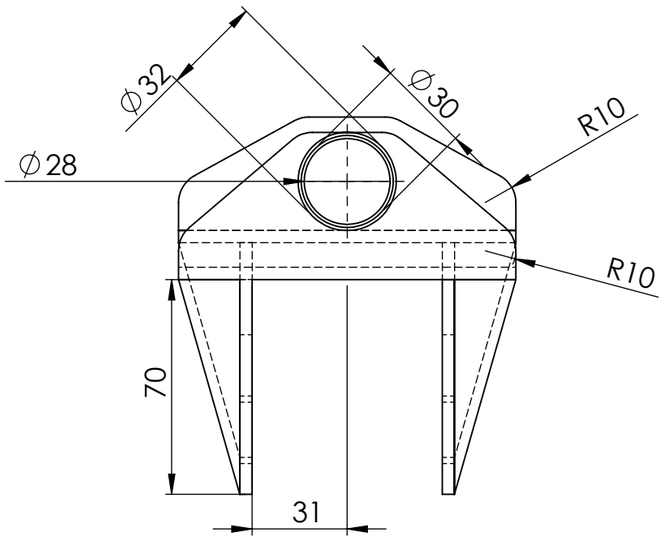


BRAZO SUPERIOR

	ESPOL				Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS	INVICTUS 01
						PROYECTO VEHÍCULO SOLAR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: BRAZO SUPERIOR Y BRAZO INFERIOR	
DIBUJ.							
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL: ALUMINIO		N.° DE DIBUJO COMPONENTE 02-03-A	A3
						ESCALA:1:5	PLANO 4

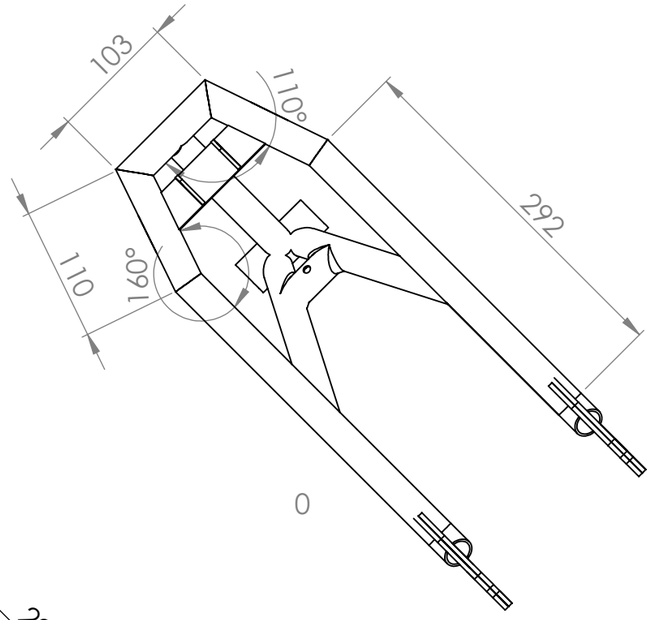


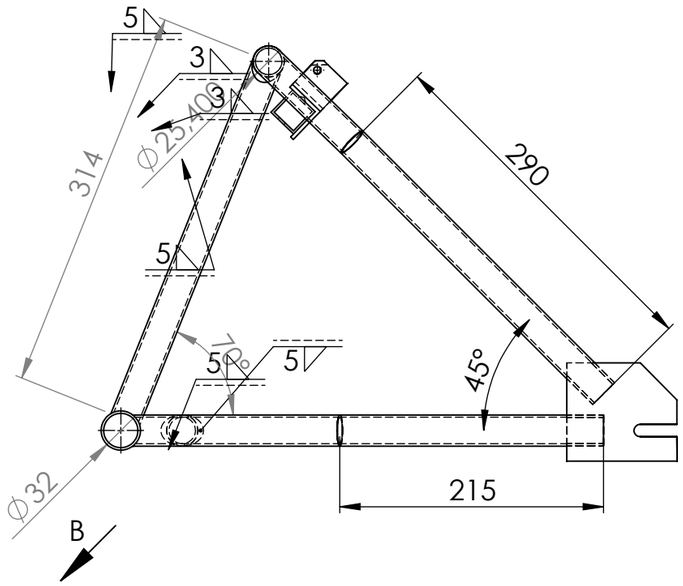




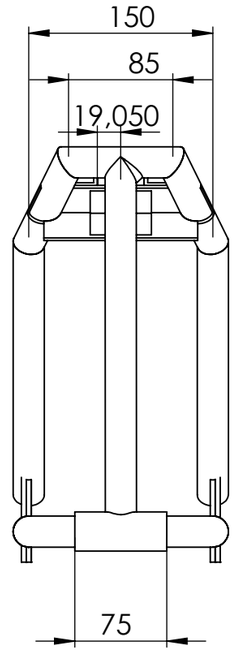
GUÍA DEL TUBO DE DIRECCIÓN (X2)

	ESPOL				Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS	INVICTUS 01
						PROYECTO VEHÍCULO SOLAR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: GUÍA DEL TUBO DE LA DIRECCIÓN	
DIBUJ.							
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL: ALUMINIO		N.º DE DIBUJO COMPONENTE 04-A	A3
				PESO: 0.6 Kg		ESCALA:1:5	PLANO 4

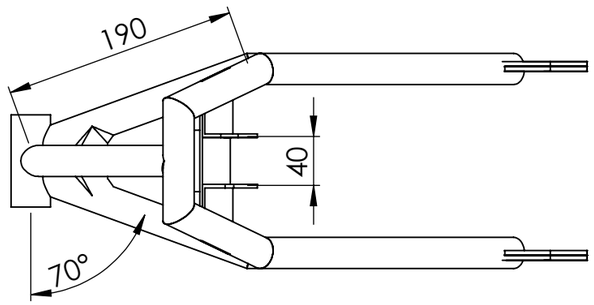




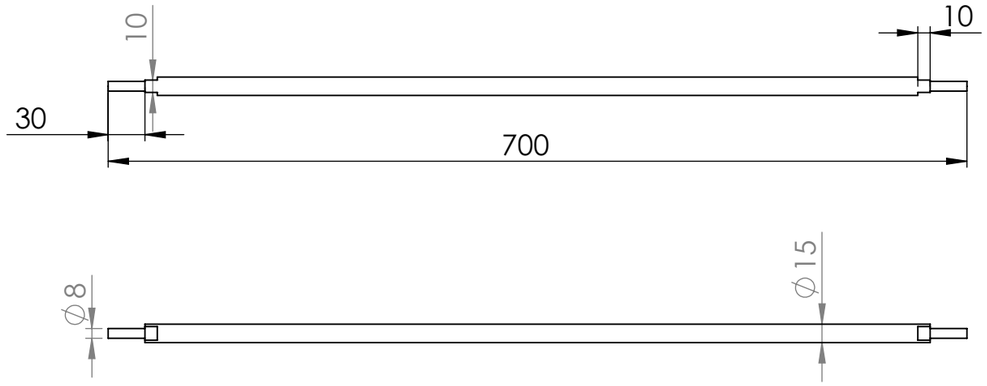
VISTA B



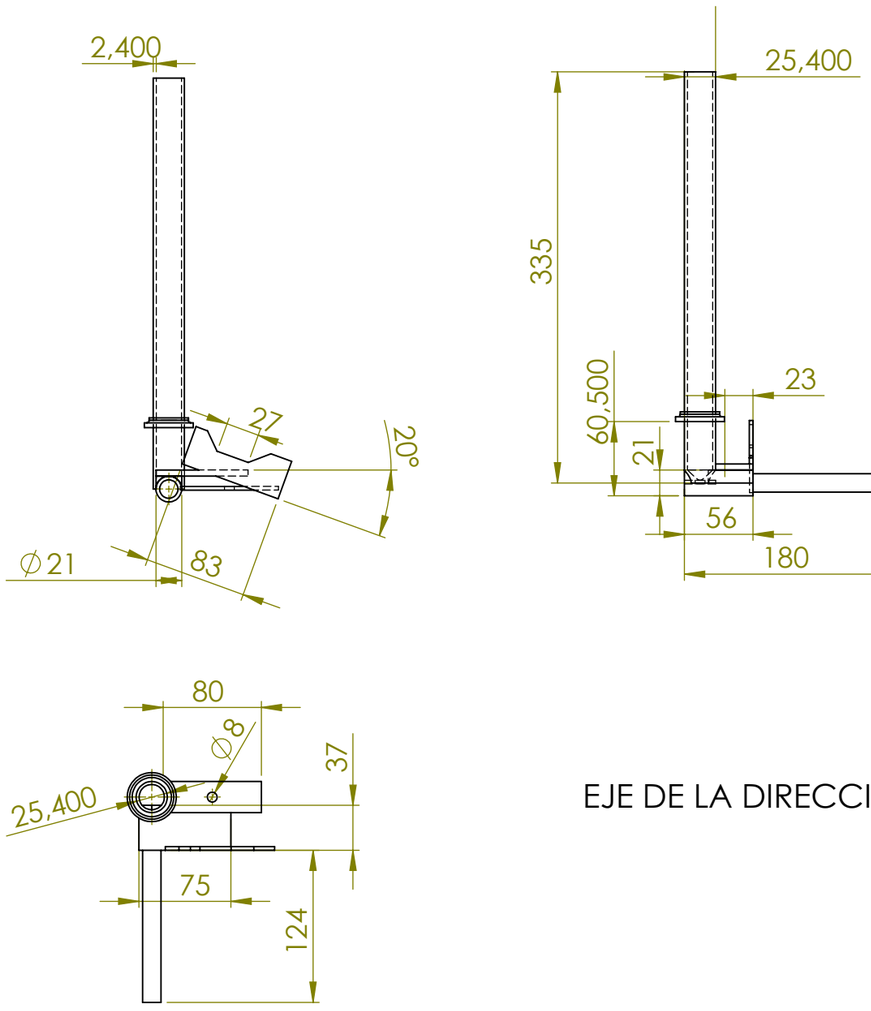
BALANCÍN (X1)

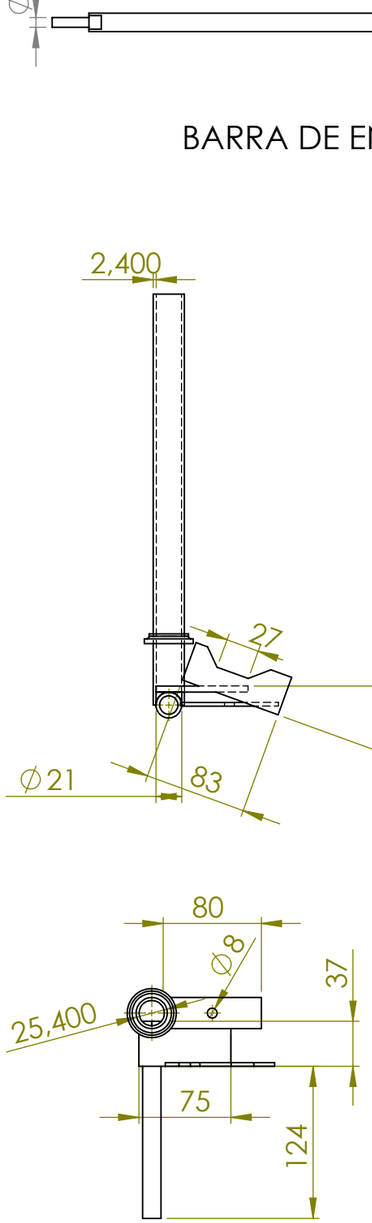


	ESPOL					Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS	INVICTUS 01
							PROYECTO VEHÍCULO SOLAR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA				TÍTULO: BALANCÍN	
DIBUJ.								
VERIF.								
APROB.								
FABR.								
CALID.				MATERIAL: ALUMINIO			N.° DE DIBUJO COMPONENTE 05-A	A3
				PESO: 1.17 Kg			ESCALA:1:5	PLANO 6

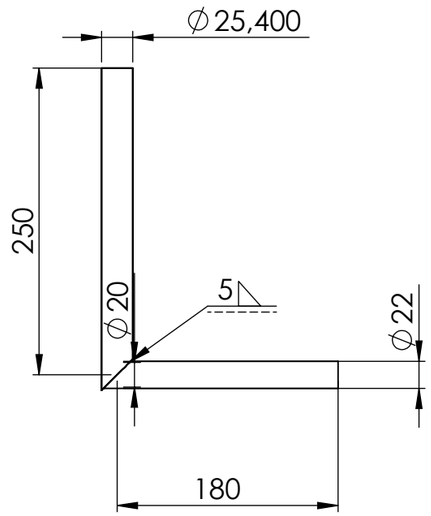


BARRA DE ENLACE DE DIRECCIÓN (X1)



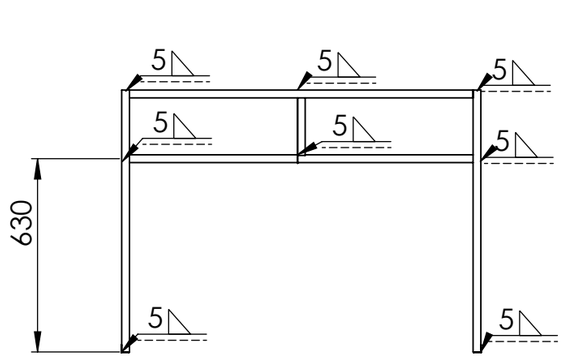


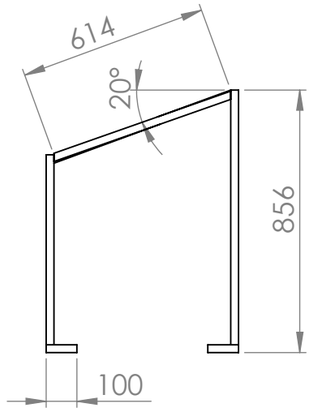
EJE DE LA DIRECCIÓN (X2)

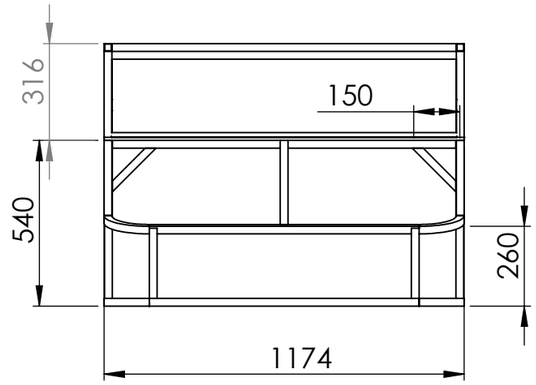


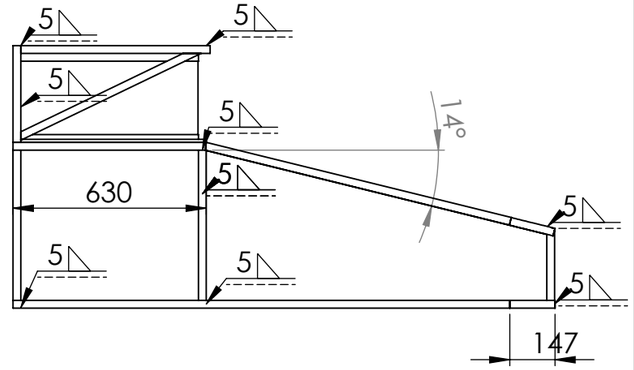
MANUBRIO (x2)

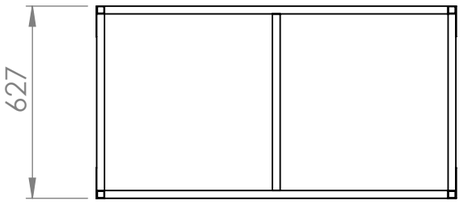
	ESPOL			Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS		INVICTUS 01
					PROYECTO VEHÍCULO SOLAR		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: EJE Y BARRA DE DIRECCIÓN Y MANUBRIO		
DIBUJ.							
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL: ACERO Y ALUMINIO	N.º DE DIBUJO COMPONENTES 06-07-08-A		A3
				PESO:	ESCALA:1:5	PLANO 7	





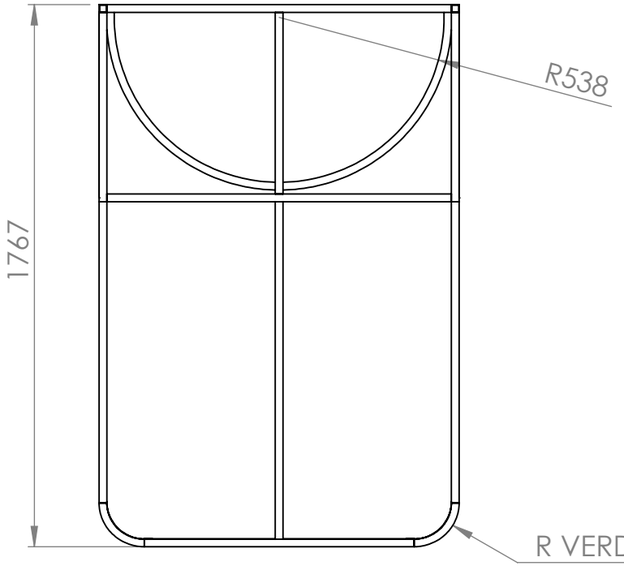






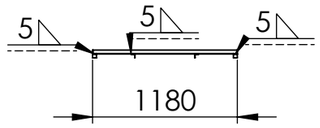
PARTE POSTERIOR (X1)

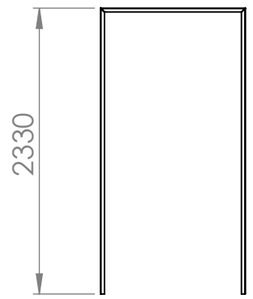
ESCALA 1:20



PARTE DELANTERA(X1)

ESCALA 1:20

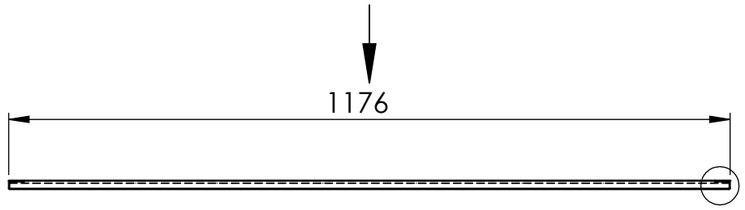




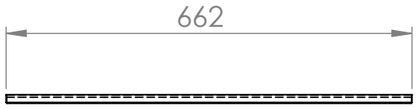
PARTE INFERIOR (X1)

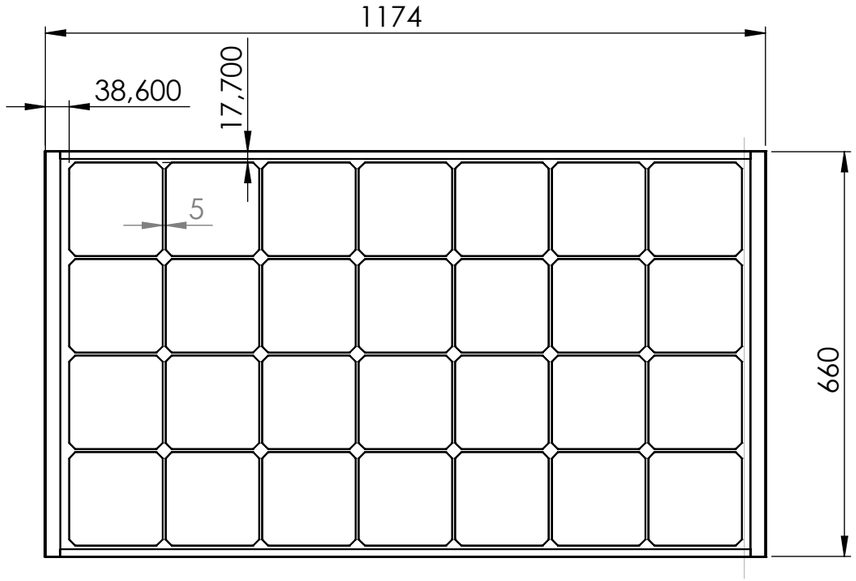
ESCALA 1:50

	ESPOL			Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS	INVICTUS 01
					PROYECTO VEHÍCULO SOLAR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: CARROCERÍA	
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL: ALUMINIO	N.º DE DIBUJO COMPONENTE 09-10-11-A	A3
					PLANO 8	

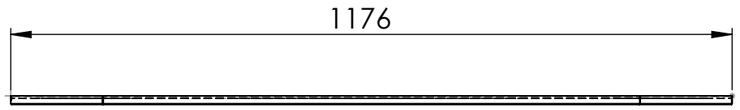


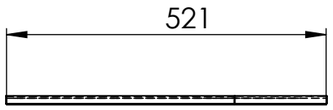
A

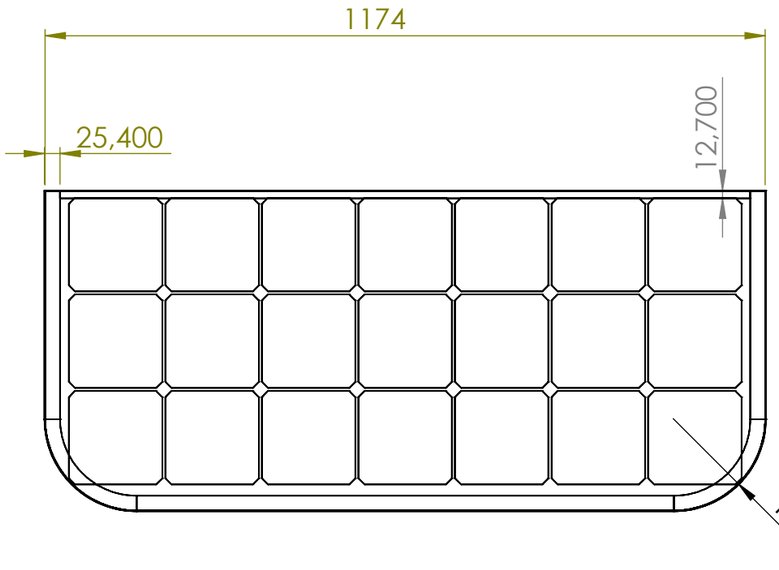




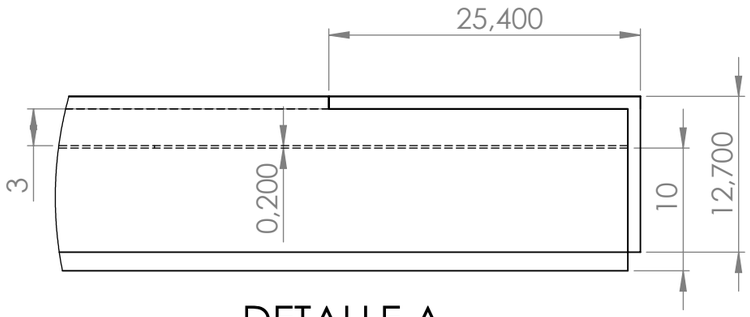
PANEL 1 (X3)





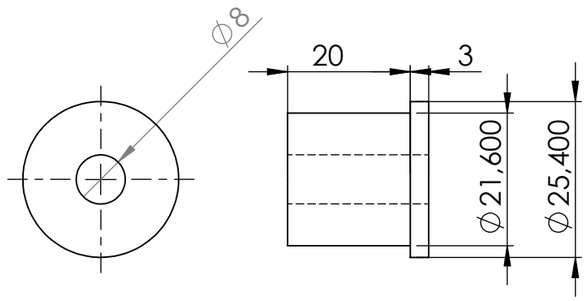


PANEL 2 (X1)

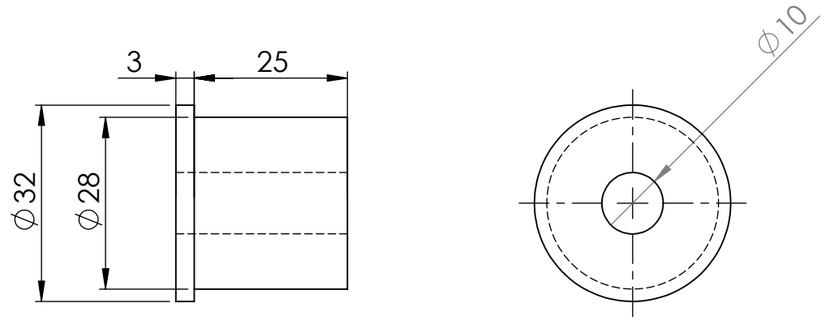


DETALLE A
ESCALA 2 : 1

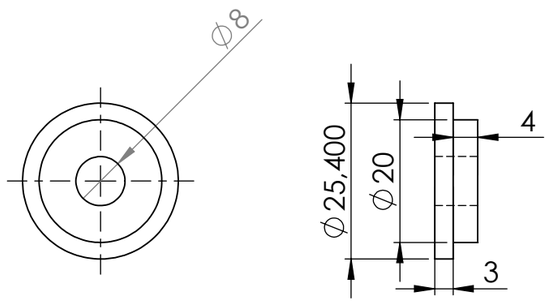
	ESPOL				Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS	INVICTUS 01
						PROYECTO VEHÍCULO SOLAR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: PANELES FOTOVOLTAICOS	
DIBUJ.							
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.				MATERIAL: MADERA BALSA Y ACRÍLICO		N.º DE DIBUJO COMPONENTES 12-13-A	A3
						ESCALA:1:10	PLANO 9



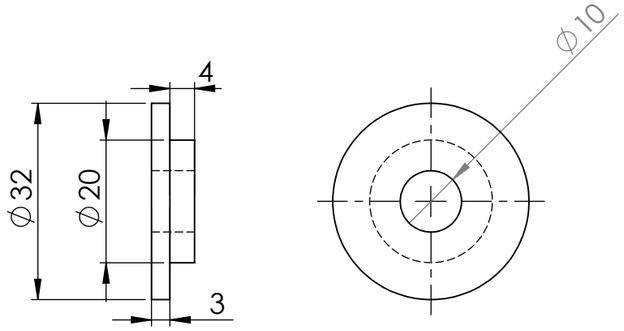
BOCIN A1 (X20)



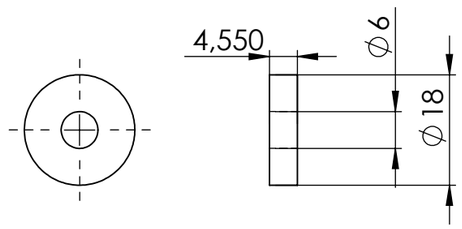
BOCIN A2 (X2)



BOCIN B1 (X20)



BOCIN B2 (X2)



BOCIN C (X12)

ESPOL				Lab. FREE	EQUIPO INTI-INVICTUS	INVICTUS 01
					PROYECTO VEHÍCULO SOLAR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: BOCINES	
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL: NYLON	N.° DE DIBUJO COMPONENTES 14-15-16-17-18-A	A3
					ESCALA:2:1	PLANO 10

APÉNDICE VI

SIMULACIONES

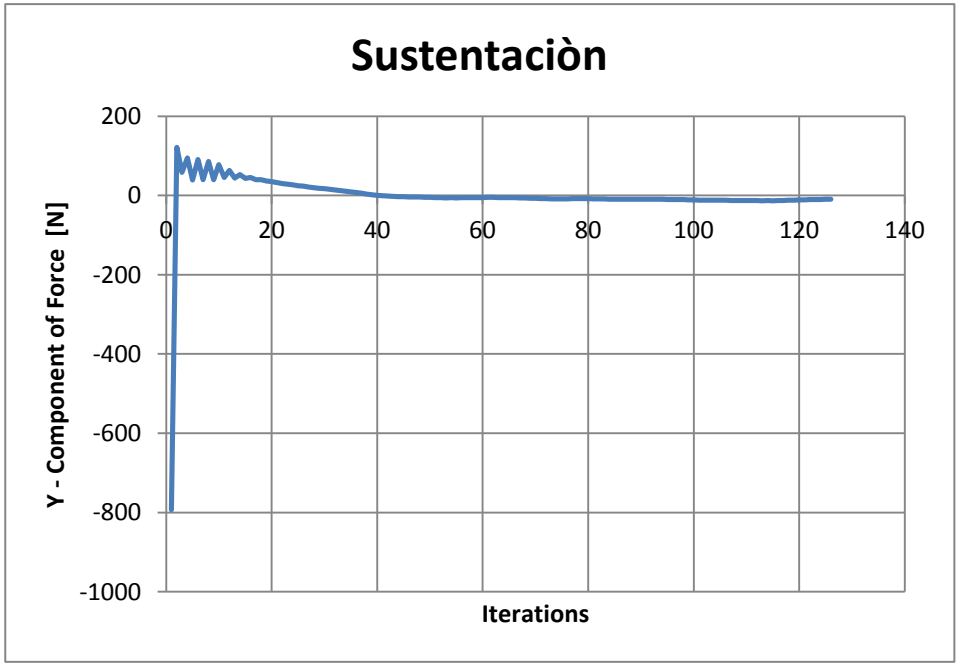
Ejemplo de resultados de simulación de fuerzas aerodinámicas para una velocidad de 30 Km/h

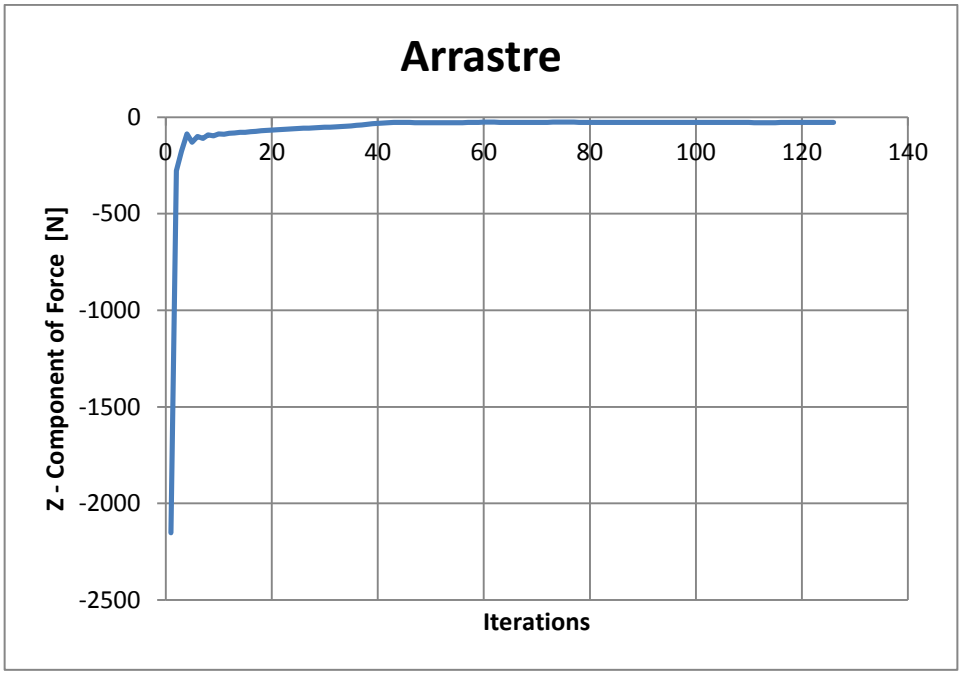
Fuerzas aerodinámicas 30 Km/h

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Y - Component of Force 1	[N]	-9,445396234	-11,73839462	-13,21970436	-9,445396234	100	Yes	2,930331295	3,008137229
GG Z - Component of Force 1	[N]	-27,31258053	-27,44538493	-28,13309539	-26,75258546	100	Yes	0,858468138	4,471921147

Iterations: 126

Analysis interval: 30





APÉNDICE VII

INFORMACIÓN DEL ATACAMA SOLAR CHALLENGE 2011

Ejemplo del manual de ruta

ATACAMA SOLAR CHALLENGE

Día 1 HUMBERSTONE- ANTOFAGASTA

Km	Evento	Indicación	
Ruta 16: 0,6	Inicio Día 1	Salida 8.30 AM	
Ruta 16: 0	Cruce Arica-Antofagasta	Virar a la derecha en dirección a Antofagasta.	
Ruta5: 1812,6	Estacionamiento Izquierda		
Ruta5: 1811,8	Velocidad Máxima 80 km/h		
Ruta 5: 1810,8	Cruce	No virar.	
Ruta5: 1810,1	Cruce Mamiña, Collahuasi-Pozo Almonte	No virar. Seguir en dirección Pozo Almonte	
Ruta5: 1809,5	Zona Urbana	Ingreso a la localidad de Pozo Almonte Velocidad Máxima 60 Km/h	
Ruta 5: 1809,5-1806,5	Pozo Almonte	Conducción al interior de Pozo Almonte. No virar en algún cruce. 2 Semáforos.	

Ruta 5: 1806,4	Velocidad Máxima 100 km/h		
Ruta 5: 1805,9	Inicio Zona de Vientos	Conducir con Precaución.	
Ruta 5: 1805,2	Estacionamiento Izquierda		
Ruta 5: 1805	Área de descanso	Estacionamiento al lado Este de la ruta 5 norte.	
Ruta 5: 1800,9	Velocidad Máxima 80 km/h		
Ruta 5: 1800	Área de descanso	Estacionamiento al lado Oeste de la ruta 5 norte.	
Ruta 5: 1797,3	Cruce La Tirana-Antofagasta	No virar. Seguir en dirección hacia Antofagasta.	
Ruta 5: 1796,5	Velocidad Máxima 100 km/h		
Ruta 5: 1794,5	Estacionamiento Derecha		

Ruta 5: 1806,4	Velocidad Máxima 100 km/h		
Ruta 5: 1805,9	Inicio Zona de Vientos	Conducir con Precaución.	
Ruta 5: 1805,2	Estacionamiento Izquierda		
Ruta 5: 1805	Área de descanso	Estacionamiento al lado Este de la ruta 5 norte.	
Ruta 5: 1800,9	Velocidad Máxima 80 km/h		
Ruta 5: 1800	Área de descanso	Estacionamiento al lado Oeste de la ruta 5 norte.	
Ruta 5: 1797,3	Cruce La Tirana-Antofagasta	No virar. Seguir en dirección hacia Antofagasta.	
Ruta 5: 1796,5	Velocidad Máxima 100 km/h		
Ruta 5: 1794,5	Estacionamiento Derecha		

Ejemplo del plan de emergencia

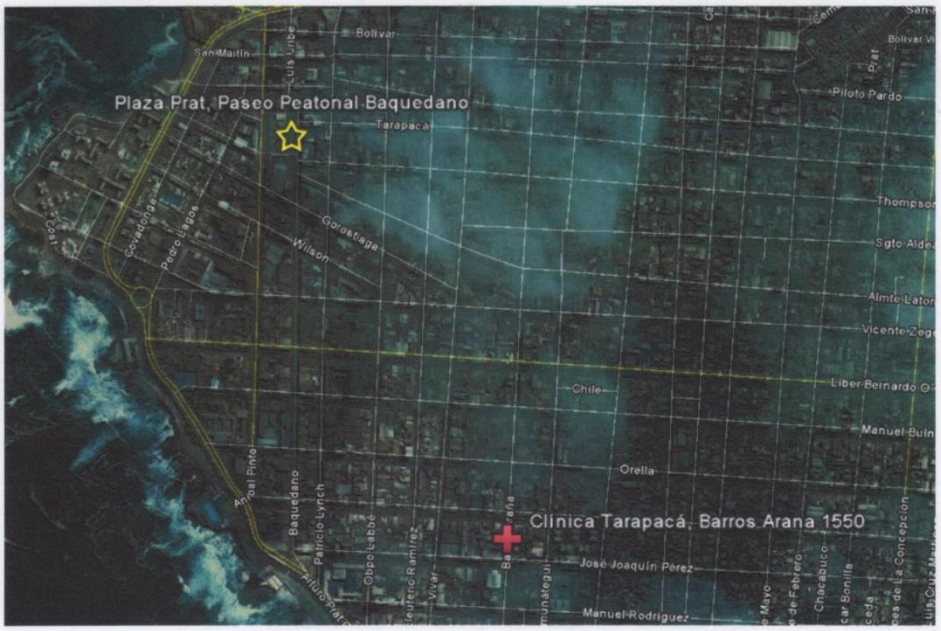
1 Plan de Emergencia en Ciudades

1.1 Exhibición Vehículos Solares Iquique

Fecha : Jueves 29 de Septiembre de 2011.
Lugar : Paseo peatonal Baquedano, Plaza Prat.
Horario : 09.00 hasta 16.00 hrs.

No contaremos con ambulancia privada en este evento. En caso de cualquier emergencia que requiera el traslado a un centro médico se deberá llamar al **131,** donde derivaran al centro de salud más cercano.

En caso de traslado sin ambulancia, se deberán dirigir a la **Clínica Tarapacá (fono: 055-397524)**, ubicada en la calle **Barros Arana 1550.**



2 Plan de Emergencia en Ruta

En el transcurso de la carrera, se deberá distinguir 3 tipos de situaciones de emergencias, que involucren a personas heridas y su transporte a un centro de salud.

a) Persona que requiera asistencia básica, para lo cual deberá ser llevado al centro de salud asistencial más cercano. Cada pueblo y ciudad tiene un centro de estas características.

b) Situación que requiera el traslado en ambulancia a un centro hospitalario, que tenga el equipamiento necesario para tratar al herido.

c) Situación extrema que requiera el traslado en helicóptero de alguna persona, lo cual deberá ser coordinado con carabineros en el caso que suceda una emergencia de estas características.

Todas las decisiones de dónde llevar al paciente, deberán ser tomadas por los paramédicos en la ambulancia o los encargados de seguridad en la ruta. Este documento tiene como función informar de las alternativas disponibles en toda la ruta.

Además de la ambulancia privada que estará acompañándonos en el transcurso de la carrera, dispondremos de ambulancias públicas apostadas en lugares estratégicos.

En la primera región tendremos ambulancias en Pozo Almonte, cuyo número de emergencia es el **71355405** y **(57) 752901**, los días 30 de septiembre y 02 de Octubre.

En la Región de Antofagasta habrán ambulancias en

Viernes 30

1. Sierra Gorda
2. Oasis
3. Baquedano
4. Entrada de Antofagasta

Sábado 01

1. Antofagasta
2. Baquedano
3. Oasis
4. Sierra Gorda

5. Calama

Domingo 02

1. Calama
2. María Elena

En caso de emergencia marcar el **131** e identificarse como participantes de la carrera. Para dudas y consultas quién estará a cargo de la coordinación es Ivania Vuscovic Supervisora SAMU Antofagasta al fono **81642315** o **55-656730.**

Lista de centros de salud públicos:

Lugar	Nombre	Dirección	Teléfono
Iquique	Hospital Regional Iquique	Héroes de la Concepción N° 502	57-405861
Alto Hospicio	Hospital Alto Hospicio	Avda. las Américas N° 3080	57-579400 / 409400
Alto Hospicio	SAPU Sector La Pampa	Sector la Pampa Nº S/N	653 360 7777
Alto Hospicio	SAPU Pedro Pulgar Melgarejo	Los Álamos Nº S/N	651 360 7777
Pozo Almonte	SAPU Pozo Almonte	Aldunate con Comercio	57-576760/4066760
Baquedano	Posta de Salud Rural	Salvador Allende 112, Aldea de Baquedano	55-641902/641842
Sierra Gorda	Posta de Salud Rural	Salvador Allende 211, Aldea de Sierra Gorda	55-343221
Antofagasta	Hospital Dr. Leonardo Guzmán	Avda. Argentina N° 1964	55-204648
Calama	Hospital Dr. Carlos Cisternas	Carlos Cisternas N° 2253	55-655700
Quillagua	Posta de Salud Rural	El Loa N° S/N, Caserío de Quillagua	68267156 (celular Tec. Paramédico)
María Elena	Consultorio María Elena	Diego de Almagro N° S/N	55-265332 / 557713 / 557751

BIBLIOGRAFÍA

1. DOUGLAS R. CARROLL, “The winning solar car: a design guide for solar race car teams”, Editorial SAE International.

2. ERIC F. THACHER, “A solar car primer”, Editorial NOVA

3. JOSEPH EDWARD SHIGLEY, LARRY D. MITCHELL, “Diseño en ingeniería mecánica”, Editorial McGraw-Hill.

4. M IBAÑEZ PLANA; J. R. ROSELL POLO, J. I. ROSELL URRUTIA, “Tecnología solar”, Editorial Mundi-Prensa.

5. GILLESPIE T. D. “Fundamentals of Vehicle Dynamics”, Editorial SAE International.

6. FRANCIS M. VANEK, LOUIS D. ALBRIGHT, “Energy Systems Engineering, Evaluation & Implementation”, Editorial McGraw-Hill.

7. NORMAN S. NISE, “Sistemas de Control para Ingenierías”, Tercera edición, Editorial CECSA.

8. MARCO PAZMIÑO B., “Energía Solar, Teoría y Experimentos”, ESPOL.

9. M. CARLOS TOBAJAS VÁSQUEZ, “Energía Solar Fotovoltaica”, Editorial CEYSA.

10. http://everbrightsolar.com/

11. http://www.goldenmotor.com/

12. http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneDay.php

13. http://www.larutasolar.com/

14. http://www.cedal.com.ec/cedal_arquitecto.php